

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет горного дела
и инженерной экологии
Кафедра «Горные работы»

ОСНОВЫ СТРАТИГРАФИИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей промышленности
в качестве электронного учебно-методического комплекса*

Составитель:

Д.П. Плакс

Минск 2017

УДК 551.7
ББК 28.1
О 72

Рецензенты:

кафедра инженерной геологии и геофизики Белорусского государственного университета (доцент, кандидат геолого-минералогических наук Л.И. Мурашко; заведующий кафедрой инженерной геологии и геофизики Белорусского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук А.Ф. Санько);

ведущий научный сотрудник отдела геологии и минерагении платформенного чехла филиала «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии», кандидат геолого-минералогических наук О.Ф. Кузьменкова

Рассмотрено и утверждено на заседании совета ФГДЭ БНТУ от 26.06.2017 г., протокол № 10

О 72 Основы стратиграфии: электронный учебно-методический комплекс для студентов университетов / Д.П. Плакс. – Минск: БНТУ, 2017. – 259 с., ил.

Стратиграфия - фундаментальный раздел геологии, изучающий временные и пространственные соотношения пластующихся толщ горных пород земной коры. Она является основой любых геологических построений. В электронном учебно-методическом комплексе изложены основные задачи и принципы стратиграфии, охарактеризованы стратиграфические подразделения, приведены основные понятия этой дисциплины, рассмотрена история становления стратиграфии. Описаны методы стратиграфических исследований: литологический, тефростратиграфический, сравнительно-фациальный, циклостратиграфический (ритмостратиграфический), астростратиграфический, тектоностратиграфический, геолого-стратиграфический, геохимический, хемотратиграфический, импактно-стратиграфический, геохронометрические, каротажные, палеомагнитный, сеймостратиграфический, секвенс-стратиграфический, событийно-стратиграфический, биостратиграфический (палеонтологический), экостратиграфический и климатостратиграфический. Показано практическое значение стратиграфии. В основу учебного комплекса положены, практические руководства и методические рекомендации по стратиграфии, учебники и учебные пособия по стратиграфии, а также энциклопедические издания, геологические справочники, научные публикации, Интернет-ресурсы.

Предназначено для студентов университетов, а также всех, кто интересуется вопросами стратиграфии.

УДК 551.7
ББК 28.1
© Издательство: БНТУ, 2017

Содержание

Введение	7
Глава 1. Исторический обзор развития стратиграфии	9
1.1. Предыстория стратиграфии (до середины XVIII в.)	10
1.2. Становление геологии, возникновение стратиграфии и ранний период её развития (вторая половина XVIII в.)	18
1.3. Возникновение и развитие биостратиграфии (первая половина XIX в. – додарвиновский период)	23
1.4. Развитие стратиграфии в период победы эволюционизма. Дарвиновский этап (вторая половина XIX в.)	29
1.5. Новейший этап развития стратиграфии (XX в.)	34
1.6. Современное состояние стратиграфии и её ближайшие перспективы (начало XXI в.)	41
Глава 2. Основные понятия в стратиграфии	44
2.1. Определение науки «стратиграфия»	44
2.2. Объект, предмет, цели и задачи стратиграфии	45
2.3. Стратиграфические подразделения	46
2.3.1. Принципы выделения стратиграфических подразделений	47
2.3.2. Классификация стратиграфических подразделений	47
2.4. Слой	49
2.5. Стратотип	54
2.6. Лимитотип	56
2.7. Основные термины стратиграфии	58
2.8. Стратиграфические шкалы	59
2.9. Общее представление о Стратиграфических кодексах	63
Глава 3. Основные принципы стратиграфии	69
3.1. Общегеологические принципы	69
3.1.1. Принцип актуализма (принцип Ч. Лайеля)	69
3.1.2. Принцип условности (договоренности) (принцип А.В. Попова - А.В. Гоманькова)	70
3.1.3. Принцип неполноты геологической летописи (принцип Ч. Лайеля - Ч. Дарвина)	71
3.1.4. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции (принцип Л. Долло - Ч. Дарвина)	72
3.1.5. Принцип периодичности (ритмичности, цикличности и этапности) явлений и процессов	73
3.1.6. Принцип палеонтологической сукцессии (Жиро-Сулави - В. Смита)	74
3.2. Седиментологические принципы	74
3.2.1. Принцип фациальной дифференциации разновозрастных отложений (принцип А. Грессли – Э. Реневье)	74
3.2.2. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (принцип Н. А. Головкинского)	75
3.3. Собственно стратиграфические принципы	76

3.3.1. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Н. Стенона)	76
3.3.2. Принцип гомотаксальности (принцип Т. Гексли)	77
3.3.3. Принцип о синхронности сходных по составу (облику) горных пород (принцип А.Г Вернера)	78
3.3.4. Принцип биостратиграфического расчленения и корреляции (принцип В. Смита)	78
3.3.5. Принцип хронологической взаимозаменяемости стратиграфических признаков (С.В. Мейена)	79
3.3.6. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (Л.Л. Халфина - Д.Л. Степанова)	80
Глава 4. Время в геологии и стратиграфии. Хроностратиграфические подразделения	81
4.1. Хроностратиграфические подразделения	88
4.1.1. Ярус и век	89
4.1.2. Отдел и эпоха	90
4.1.3. Система и период	90
4.1.4. Эратема и эра	90
4.1.5. Эонотема и эон	90
4.1.6. Хронозона	
4.1.7. Хроностратиграфические подразделения свободного пользования.	91
Глава 5. Методы стратиграфических исследований	92
5.1. Литологический метод	92
5.1.1. Петрографический (литологический) состав	97
5.1.2. Минералогический состав	97
5.1.3. Окраска	98
5.1.4. Конкреции	98
5.1.5. Слоистость	100
5.1.6. Перерывы в осадконакоплении	101
5.1.7. Маркирующие горизонты	104
5.2. Тефростратиграфический метод	106
5.3. Сравнительно-фациальный метод	107
5.4. Циклостратиграфический (ритмостратиграфический) метод	109
5.5. Астростратиграфический метод	115
5.6. Тектоностратиграфические (диастрофические) методы	117
5.7. Геологические методы оценки относительного возраста	121
5.7.1. Определение относительного возраста магматических пород	121
5.7.2. Структурный метод	122
5.8. Геохимический метод	122
5.9. Хемостратиграфический метод	125
5.9.1. Стабильные изотопы кислорода	126
5.9.2. Определение изотопного состава и его зависимость от факторов среды	126
5.9.3. Стабильные изотопы углерода	127

5.9.4. Стабильные изотопы стронция	129
5.9.5. Применение стабильных изотопов в стратиграфии	129
5.10. Импактно-стратиграфический метод	130
5.11. Геохронометрические методы	130
5.11.1 Изотопные (радиологические) методы	130
5.11.2. Радиационные дозиметрические методы	140
5.11.3. Нерадиологические методы	141
5.11.4. Геохронометрические подразделения	142
5.12. Метод молекулярных часов	143
5.13. Геофизические каротажные методы	144
5.14. Магнитостратиграфический метод	150
5.14.1 Магнитостратиграфические подразделения	155
5.15. Сейсмостратиграфические методы	159
5.15.1. Сейсмостратиграфические подразделения	163
5.16. Секвентно-стратиграфический метод	165
5.16.1. Терминология и основные понятия секвенс-стратиграфического метода	166
5.16.2. Форма секвенсов	171
5.16.3. Значение секвенс-стратиграфического метода	172
5.16.4. Прослеживание секвенсов	172
5.16.5. Основные преимущества метода	172
5.16.6. Номенклатура и правила описания	172
5.17. Событийно-стратиграфический метод	173
5.17.1. Глобальные события	174
5.17.2. Региональные события	178
5.18. Биостратиграфический (палеонтологический) метод	178
5.18.1. Принципиальные основы палеонтологического метода в стратиграфии	179
5.18.2. Проблема неограниченности эволюционного процесса	181
5.18.3. Проблема направленности эволюционного процесса	182
5.18.4. Адаптиогенез и его основные формы	186
5.18.5. Неравномерность эволюционного процесса	187
5.18.6. Периодичность и этапность в развитии организмов	188
5.18.7. Распространение ископаемых организмов в разрезе	190
5.18.8. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии	191
5.18.9. Биостратиграфическое расчленение разрезов	199
5.18.10. Биостратиграфическая корреляция	205
5.18.11. Биостратиграфическое датирование	218
5.18.12. Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии	221
5.18.12.1. Осложняющие факторы первичного характера	222
5.18.12.2. Осложняющие факторы вторичного характера	227
5.18.13. Стратиграфические подразделения, выделяемые	

биостратиграфическим методом	231
5.19. Экостратиграфический метод	235
5.20. Климатостратиграфический метод	237
5.20.1. Особенности геологических исследований в рамках климатостратиграфического метода	239
5.20.2. Климатостратиграфические подразделения	240
Глава 6. Практическое значение стратиграфии и стратиграфическая основа	243
Заключение	246
Контрольные вопросы	247
Использованная и рекомендуемая литература	252
Приложение 1	258
Приложение 2	259

Введение

Стратиграфия является главнейшей фундаментальной геологической наукой. Она даёт возможность установить пространственно-временные соотношения пластующихся толщ горных пород земной коры. Выделившись одной из первых (после минералогии) в XVII веке из обширного и неопределённого познания «земной тверди», она сделала геологию наукой исторической. Иными словами, геология смогла выделиться как наука тогда, когда ученые начали рассматривать геологические процессы в их временной последовательности.

Стратиграфия играет важнейшую роль при любых геологических исследованиях. Она является основой для подавляющего большинства геологических наук. С её разработки начинается познание геологического строения любой исследуемой территории. Без данных стратиграфии невозможно обойтись практически ни в одной области теоретической и прикладной геологии. Эти данные необходимы при составлении геологических, геохимических, тектонических, литолого-фациальных и палеогеографических карт любого масштаба, при прогнозировании, поисках и разведке многих видов полезных ископаемых, прежде всего топливно-энергетического сырья, строительных материалов, стратиформных рудных месторождений. Не обойтись без данных стратиграфии также в гидрогеологии и инженерной геологии. Без неё невозможно реконструировать палеогеографические обстановки, раскрывать сложное строение структур земной коры, решать проблемы эволюции органического мира, геологического развития отдельных регионов и Земли в целом.

В связи с проведением в настоящее время в мире крупномасштабных геологических съёмок, изучением осадочного чехла шельфов и океанов, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых во всё более сложных геологических условиях значение стратиграфии возрастает ещё более и предаёт ей статус фундаментальной науки в цикле геологических знаний.

Кроме того, наука стратиграфия выполняет функцию международного геологического языка, является средством общения геологов разных стран, поскольку основные геологические события имеют глобальное значение. Согласно академику Борису Сергеевичу Соколову - научный уровень стратиграфических исследований самый объективный показатель геологической культуры страны, культуры подхода к освоению минеральных ресурсов.

Из всего выше сказанного ясно, что без понимания основ этой науки, её методов, принципов плодотворная деятельность специалиста-геолога в меньшей степени, горного инженера, невозможна. Особенно это касается направлений геологической съёмки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, нефтяной и газовой геологии, литологии, разведочной геофизики. Все эти направления тесно связаны со стратиграфией.

При подготовке настоящего учебного комплекса автором были широко использованы в основном учебники и учебные пособия ведущих советских, российских и белорусских геологов, а также энциклопедические издания, геологические справочники, научные публикации и Интернет-ресурсы. Для более глубокого освоения стратиграфии рекомендуется изучить первичные литературные источники, список которых приводится в конце книги.

Автор выражает искреннюю признательность рецензентам за глубокий и всесторонний анализ рукописи, её отдельных частей и сделанные рекомендации.

Глава 1. Исторический обзор развития стратиграфии

Стратиграфия является основой для подавляющего большинства геологических дисциплин существующих в настоящее время. Она зародилась почти одновременно с возникновением геологии как одной из отрасли естествознания, поэтому её развитие, особенно в период её зарождения и становления, неотделимо от истории геологии в целом.

На сегодняшнее время в геологической литературе имеется достаточное количество работ, в которых приводятся сведения по истории развития стратиграфии. Отметим лишь некоторые из них. Это, прежде всего, фундаментальная «История геологии» (1973) коллектива авторов под редакцией И.В. Батюшковой, двухтомная монография Г.П. Леонова «Основы стратиграфии» (1973; 1974), глава 1 в учебнике Д.Л. Степанова и М.С. Месежникова (1979), книга А.А. Касумзаде «Стратиграфическая классификация, терминология, номенклатура и геохронометрия (Вопросы и проблемы)» (2001), трёхтомная монография К.В. Симакова «К созданию теории палеобиосферного времени» (2004), учебно-методическое пособие В.В. Силантьева «История возникновения современной стратиграфической классификации» (2004), монография С.И. Романовского «Великие геологические открытия» (2005), учебное пособие В.Е. Хаина, А.Г. Рябухина, А.А. Наймарк «История и методология геологических наук», глава 1 в учебнике В.А. Прозоровского «Общая стратиграфия» (2010), глава 1 в учебно-методическом пособии Г.В. Холмовой, В.Ю. Ратникова и В.Г. Шпуль «Теоретические основы и методы стратиграфии» (2008), глава 1 в учебно-методическом пособии Т.Н. Титоренко, А.Т. Королькова, А.В. Сизова, С.А. Анисимовой «Основы стратиграфии: проблемы и методы» (2014) и др. Это обстоятельство делает излишним чрезмерно подробное систематическое рассмотрение истории стратиграфии и позволяет ограничиться кратким обзором главных этапов её развития. При этом основное внимание отводится рассмотрению работ, сыгравших исключительно важную роль в формировании основных принципов стратиграфии и разработке методов стратиграфических исследований. Исходя из анализа истории становления стратиграфии, в её развитии можно выделить шесть основных этапов:

первый этап - предыстория стратиграфии (до середины XVIII в.);

второй этап - становление геологии, возникновение стратиграфии и ранний период её развития (вторая половина XVIII в.);

третий этап - возникновение и развитие биостратиграфии (первая половина XIX в. – додарвиновский период);

четвертый этап - развитие стратиграфии в период победы эволюционизма. Дарвиновский этап (вторая половина XIX в.);

пятый этап - новейший этап развития стратиграфии (XX в.);

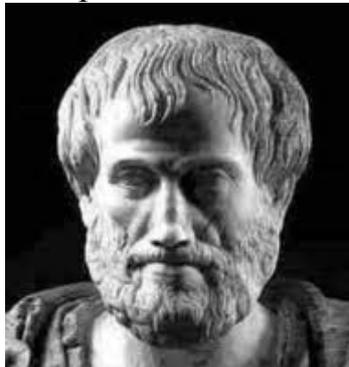
шестой этап – современное состояние стратиграфии и её ближайшие перспективы (начало XXI в.)

Ниже рассмотрим каждый из этапов.

1.1. Предыстория стратиграфии (до середины XVIII в.)

К предыстории стратиграфии относится очень длительный период накопления фактов и наблюдений, подготовивших базу для возникновения стратиграфии как самостоятельной области геологии во второй половине XVIII в.

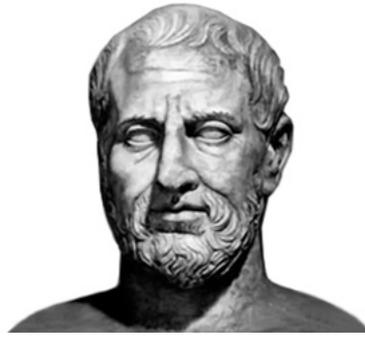
Еще в античные времена, когда люди пытались объяснить различные явления природы, их внимание привлекала ритмичность напластования горных пород в горах. Такие учёные того времени как Фалес (около 625 – 547 гг. до н. э.), Ксенофан (570 - 475 до н. э.), Гераклит (544-474 гг. до н. э.), Эпидокл (около 490-430 гг. до н.э.), Аристотель (384-322 гг. до н.э.), Теофраст (372-287 гг. до н.э.), Овидий (43 г. до н. э.) и ряд других, различали деятельность «подземного жара» и воды, слоистые (осадочные) породы. Находки окаменелых остатков морских организмов в «земных слоях» античные авторы объясняли подвижностью Земли, в результате чего происходит смена суши морем и обратно.



Аристотель (384-322 гг. до н.э.)

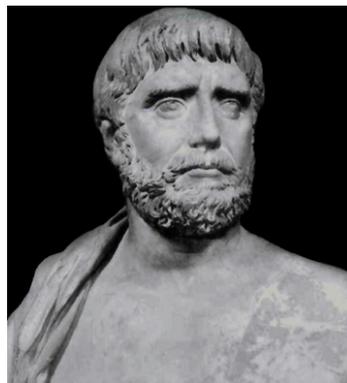
Так, Аристотель в своей работе «Метеорологика» писал: «Одни и те же области земли не остаются постоянно либо влажными, либо сухими, но меняют свои свойства в зависимости от появления и исчезновения рек. Поэтому и суша, и море меняются местами, и земля не остается всё время землёй, а море морем, но там, где была суша, возникает море, а где ныне море, там снова будет земля. Однако эти перемены следует представлять себе происходящими в определённом порядке и через определённые промежутки времени».

Говоря о периодических изменениях в расположении суши и моря, Аристотель вполне отдавал себе отчет в медленности этих изменений. По Аристотелю, всякая физическая эволюция Земли происходит постепенно и в течение времени очень длительного по сравнению с нашей жизнью, эти изменения остаются незамеченными нами, и разрушение и превращение в руины целых рас имеют место раньше, чем они смогут проследить эти изменения от их начала до их конца.



Теофраст (372-287 гг. до н.э.)

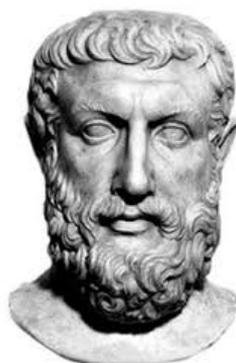
Подобные мысли, но в более конкретной форме повторяются учеником Аристотеля Теофрастом, указавшим на реальные свидетельства бывшего присутствия моря на участках современной суши: галька, раковины, «другие предметы из тех, которые обычно выбрасываются с пеной на морские берега». В высокохудожественной и литературной форме упоминания о них мы обнаруживаем в хорошо известных «Метаморфозах» поэта-учёного Овидия: «Я лично видел, что то, что раньше было сушей (буквально твердой землёй), было морем, я видел сушу, образованную за счёт моря, и очень далеко от открытого моря морские раковины, которые валялись на земле и старинный якорь был обнаружен на самой высокой из гор; и всё, что было возделанной землёй, быстрое течение воды превратило в долину, и благодаря размыву гора была смыта в море; болотистая почва была осушена и превращена в сухие пески и те, которые пропитались водой, стали влажными от стоячей воды этих болот».



Фалес (около 625 – 547 гг. до н. э.)

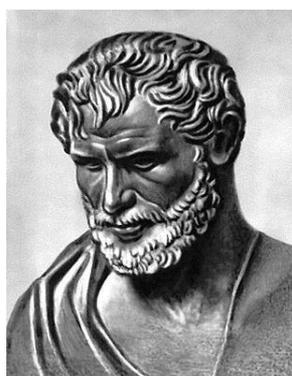
Философ Фалес полагал, что субстанцией, образующей мир, является вода: «Земля с живущими на ней тварями возникла из воды и вновь в неё обратится...». Ксенофан, базируясь на факты нахождения морских раковин в горах, сделал выводы о прежних затоплениях суши морем. Гераклит первоначальной сущностью считал огонь: «...путём сгущения огня и появляются все вещи и путем разжижения в него превращаются...». Эпидокл

писал в своё время, об огненно-жидком ядре Земли и видел в этом причину извержения вулканов и образования горячих источников.



Ксенофан (570 - 475 до н. э.)

Однако ещё раньше, люди более древних очагов цивилизации, таких как Шумерии, Египта, Вавилонии, Центральной Азии, Индии, Китая, умевшие отыскивать рудные месторождения и вести их разработку, при проведении геологических работ, встречали ископаемые остатки животных и растений, отличали осадочные горные породы от вулканических пород и т.д. Понятно, что без знания самых общих закономерностей залегания и распространения рудных и нерудных месторождений, о составе и характере некоторых минералов, эти люди не могли бы создать древнейшие цивилизации на Земле. Нетяжело догадаться, что некоторые из выше отмеченных античных авторов, несомненно, заимствовали различные сведения у исследователей этих стран древних культур.



Гераклит (544-474 гг. до н. э.)

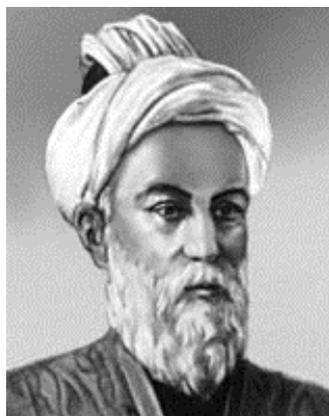
В этой связи, стоит особо отметить несколько китайских работ, таких как «Сан-Хей-Дин» (около 450 г. до н. э.), словарь «Эр-Я» (X в. до н.э.), «Гуан-Цзы» (685 лет до н. э.), где содержались сведения о некоторых минералах; работы «Лао-Цзы» (V в. до н. э.) - основоположника даосизма, где описывались представления о создании мира.

С падением Западной Римской империи, которое происходило под «натиском» тюркских племен, особенно гуннов, вплоть до эпохи Возрождения, в Западной Европе наступает длительная эпоха упадка и застоя в развитии всех отраслей естествознания. Это было связано с активной деятельностью церкви, которая повсеместно жёстко подавляла «критические» мысли, противоречившие «догмам».

Начиная с VII века арабские и арабоязычные мусульманские учёные, наряду со своими собственными научными исследованиями, начали переводить на арабский язык сочинения предыдущих авторов, в том числе и античных. Впоследствии именно эти переводы были переведены на латинский язык и стали доступными исследователям Европы эпохи Возрождения. Таким образом, VII-X века можно назвать арабомусульманской эпохой в развитии науки, в том числе и геологии.

В анонимном арабоязычном произведении «Послание братьев чистоты и друзей верности» (X в.), авторы писали, что поверхность Земли постоянно и непрерывно изменяется, то есть горные области становятся пустынями, области морей - горами и т.д.

Начиная с X в., несмотря на многочисленные, междоусобные разрушительные войны, происходившие в Центральной Азии, целая плеяда тюркских учёных, таких как Омар Аалем (X в.), (980-1037), Абу Али Ибн-Сина (980-1037), Абу-Рейхан Ал-Бируни (973-1048), Низами Гянджави (1141-1209) и многие другие, опираясь на различные трактаты древних учёных и на свои собственные исследования, систематизировали, помимо прочих, геологические науки в том виде, в котором они принимаются в основном и сегодня. Эти учёные, ещё в X-XIII веках, рассматривали ископаемые остатки организмов, как геологические документы, сохраняющие в себе геологическую историю развития Земли, высказывали мнения о происхождении тех или иных горных пород, о механизме осадконакопления, о колоссальной продолжительности геологического времени, о горообразовании и землетрясениях, о вулканических процессах; классифицировали горные породы и минералы и т.д.



Абу Али Ибн-Сина (Авицена, 980-1037)

Так, азербайджанский ученый Омар Аалем в своём сочинении «Отступление морей», сравнивая географические карты разных эпох, приходит к выводу об изменении площадей, занимаемых морем, в течение геологического времени.

Узбекский учёный Абу Али Ибн-Сина (латинизированное имя - Авиценна), в своей работе «Книга исцеления», написанной в 1021-1023 гг., предлагал следующую классификацию горных пород и минералов: 1) камни; 2) плавные тела (металлы), 3) серные горючие вещества и 4) соли. Согласно взглядам Ибн-Сины, рыхлые породы, под влиянием «сил» превращаются в камни, геологические процессы происходили за длительный срок, суша и море многократно менялись местами. Рассматривая ископаемые остатки морских организмов, как документы, указывающие на присутствие здесь некогда морей, Ибн-Сина писал, что слои, слагающие горы, формировались не одновременно и горообразовательные процессы происходили в результате землетрясений (в современном понимании в результате тектонических процессов) и экзогенных процессов. Также Ибн-Сина, процесс «окаменения» рыхлых пород рассматривал как аналогию выпадения соли из водного раствора.

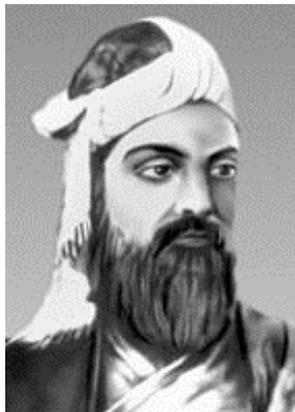


Абу Рейхан Ал-Бируни (973-1048)

Другой узбекский учёный и современник Ибн-Сины, Абу Рейхан Ал-Бируни, является родоначальником современного направления минералогии как науки. Находки в земле окаменелых остатков раковин морских организмов и рыб, он также рассматривал как геологические документы, указывающие на существование здесь морских бассейнов. Изучая геологические процессы образования дельты р. Ганг, он, утверждал, что суша в долинах крупных рек Индии, некогда была покрыта морем. В своих палеогеографических построениях Бируни, предполагал, что в геологическом прошлом, воды Аму-Дарьи впадали в Каспийское море.

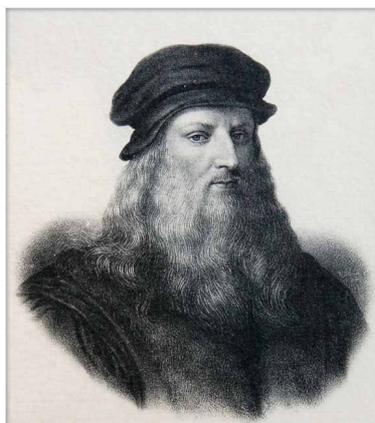
Азербайджанский поэт-ученый, философ Низами Гянджяви в своих классических произведениях - поэмах «Сокровищница тайн», «Хосров и Ширин», «Лейли и Меджнун» и др., рассматривает состояние изученности поднятых им научных вопросов глобального характера. Развивая научные выводы своих предшественников, Низами, который был знаком с работами и

античных авторов, считал, что Земля, имеет шарообразную форму, Луна является его спутником, «светящие звёзды» имеют свой мир (существование других систем).



Низами Гянджяви (1141-1209)

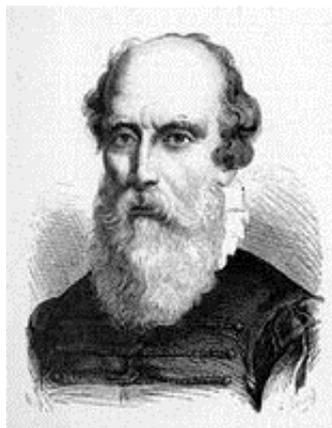
В своих произведениях Низами Гянджяви выделял четыре свода (оболочки) Земли, которые, по его мнению, концентрически взаимосвязаны друг с другом и вращаются вместе с Землёй: 1) светящаяся огненная оболочка; 2) воздушная оболочка (атмосфера); 3) водная оболочка (гидросфера) и 4) каменная оболочка (литосфера). Он также писал, что в результате землетрясений и деятельностью текущих вод и ветров лик Земли в течение геологического времени постоянно меняется; рыхлые породы в течение времени трансформируются «в камни» и наоборот. Землетрясения он связывал с процессами, происходящими в глубоких слоях земной коры, в результате чего высвобождаются «скрытые в чёрном камне» (ядро?) пары (энергия). К тому же, в своих произведениях он много места уделял металлам, драгоценным камням, рудным месторождениям, водам и пр.



Леонардо да Винчи (1452-1519)

С наступлением эпохи Возрождения в Европе в XV – XVI вв. начинается расцвет науки и культуры, проявившийся и в области

естествознания. Леонардо да Винчи (1452-1519), обобщая свои геологические наблюдения, сделанные при сооружении каналов в Северной Италии, изложил близкие к современным представления об образовании земных слоёв и возникновении окаменелостей, развил идеи о периодической смене морского режима континентальным. Он считал, что ключом к познанию геологической истории определённого участка земной поверхности является изучение последовательности напластования слоёв горных пород.



Бернар Палисси (1510-1589)

Другим крупным учёным эпохи Возрождения, в работах которого геология, помимо изучения гончарного производства, стеклоделия и искусства живописи по стеклу, занимала главное место, был француз Бернар Палисси (1510-1589). Фактически он был пионером науки - гидрогеологии. В 1580 г. Б. Палисси опубликовал трактат «О водах и источниках», в котором утверждал, что источники питаются дождевыми водами, просачивающимися в почву. В другом своем сочинении, посвященном ископаемым органическим остаткам, он не только высказывает твёрдое убеждение в их именно органическом происхождении, но и указывает, что среди ископаемых встречаются остатки вымерших родов и видов, в том числе похожих на тропические. При этом он отвергает роль Всемирного потопа. В труде «О камнях» он как первый французский минералог описывает кристаллическую форму минералов, отмечая её специфичность, а также высказывает идею о генезисе кристаллов минералов из солевых растворов, отмечая отличие этого процесса от превращения воды в лед.

Гораздо большее значение в понимании минерального царства имели труды старшего современника Б. Палисси, немецкого учёного в области горного дела и металлургии, Георга Бауэра (1494 – 1555), более известного под именем Агриколы. Ему принадлежит разделение минеральных тел на две главные группы: однородных тел, или минералов, и сложных минеральных тел, или горных пород. Именно с работ Агриколы начинают различать собственно минералогию и петрографию. Он же предлагает свою классификацию минералов, подразделяя их на земли, соли, драгоценные камни, металлы, и горные породы, разделяя их по цвету, твёрдости и другим

физическим свойствам. Он описал 20 новых минералов в дополнение к 60 известным до него. В трудах Агриколы заложены начала учения о рудных месторождениях. Он выделяет различные формы залегания рудных тел: жилы, штоки, линзы, пластовые залежи. Образование этих тел он приписывает осаждению из воды или загустению «слоёв земли».



Георг Бауэр (Агрикола, 1494 – 1555)

Циркулирующая по трещинам и пустотам вода, образуемая за счёт просачивания поверхностных вод, выделяя растворённые вещества, и даёт начало рудным скоплениям. Возникает это благодаря тому, что вода на глубине нагревается под влиянием горения углей, битумов и иных горючих веществ, затем превращается в пар, который подымается вверх, где он охлаждается и конденсируется. В этих рассуждениях Агриколы можно усматривать начало гидротермальной теории образования рудных месторождений.



Николай Стенсон (1638-1686)

В XVII в. появляются работы, в которых рассматриваются различные проблемы геологии, в том числе образование горных пород путем осаждения в водной среде. Особое значение в этом отношении имеет сочинение «О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом» (*De solido intra solidum naturaliter contento*) известного датского геолога, палеонтолога,

кристаллографа, анатома, философа Н. Стенсона (Stenson, 1638-1686), опубликованное в 1669 г. во Флоренции и являвшееся итогом его многолетних наблюдений в Тоскане (Западная Италия). В этом сочинении он впервые чётко сформулировал основные принципы стратиграфии и установил, что последовательность залегания слоёв в вертикальном разрезе отвечает исторической последовательности их образования:

- слой Земли – результат осаждения в воде;
- слой, заключающий обломки другого слоя, образовался после него;
- всякий слой отложился позднее слоя, на котором залегаёт;
- слой, содержащий морские раковины или морскую соль, образовался в море, а если он содержит растения, то он произошёл от речного паводка или появления потока воды;
- слой должен иметь непрерывную протяжённость и его можно проследить поперёк какой-либо долины;
- слой отлагался сначала горизонтально; если он наклонён, то он испытал какой-либо переворот; если другой слой залегаёт на наклонных слоях, то переворот произошёл ранее отложения этого второго слоя;
- первичная непрерывность слоёв, отложившихся в водной среде, исчезает только в результате выклинивания по периферии бассейна.

Н. Стенон сформулировал основополагающий принцип, являющийся аксиомой стратиграфии: в нормально залегающих осадках покрывающий слой всегда моложе подстилающего. Он подразделил горные породы окрестностей Тосканы на вулканические породы и осадочные. По заключённым окаменелостям в осадочных породах он классифицировал слои морского и континентального генезиса. Им была восстановлена геологическая история области Тосканы. В действительности, он впервые применил палеографический метод в стратиграфии, хотя фактически такой науки ещё не существовало. Поэтому Н. Стенон по праву считают основоположником стратиграфии и историко-геологического направления исследований.

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

Становление геологии как науки связано, прежде всего, с именами двух выдающихся учёных Ж. Бюффона (1707-1788) и М.В. Ломоносова (1711-1765), в работах которых утверждались идеи о развитии мира, длительности истории Земли и о тех многократных изменениях, которые испытала её поверхность на протяжении всей своей истории.

Ж.Л. Бюффон в многотомной «Естественной истории» отмечал необходимость опираться на факты и объяснять их, основываясь на современных процессах. Тем самым он, вслед за Н. Стеноном, подчёркивал значение принципа актуализма. Восстанавливая геологическую историю Земли, Ж.Л. Бюффон анализировал изменения во времени геологических

памятников, которые характеризовали семь эпох её становления. Он первым попытался определить продолжительность существования Земли от момента происхождения. По произведённым расчётам и экспериментам она составляла 75000 лет. Эпохи Ж.Л. Бюффона, соответствующие определённым состояниям Земли, сменяли друг друга постепенно, не отделяясь резкими границами. Одновременно эпохи служили и мерой времени, соответствующей каждому последовательному состоянию системы развития земной коры.



Жорж Луи Леклерк Бюффон (1707-1788)

Геологические работы М.В. Ломоносова представляют особый интерес для стратиграфии. Не случайно главная из этих работ, изданная в 1763 г. носит название «О слоях земных». В этой работе можно найти не только описания конкретных разрезов с приведением их литологической и палеонтологической характеристики отдельных слоёв, но и соображения о способах образования слоистых горных пород. М.В. Ломоносов объяснял их происхождение осадением в водных бассейнах и обосновывал это нахождением ископаемых раковин «черепкожных», то есть моллюсков, литологическим составом и наблюдением над современными образованиями. Он выдвинул идею о геологическом времени, длительность которого неизмеримо превышает историю человечества. Для объяснения нахождения ископаемых остатков слонов (мамонтов) и тропических растений («трав индейских») в Сибири М.В. Ломоносов прибег к допущению существования здесь в древние времена жаркого климата.



Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765)

В своих рассуждениях и выводах он широко использовал актуалистический подход к явлениям геологического прошлого. При этом актуализм у него не переходил в униформизм, принимающий неизменным ход наблюдаемых в настоящее время процессов. Главная заслуга М.В. Ломоносова как геолога заключалась в том, что он один из первых обратился в своих исследованиях к принципам, используемым в современной геологии.

Одной из первых попыток создания возрастной классификации горных пород явилась схема, разработанная в 1760 г. падуанским профессором Дж. Ардуино (1714-1795) на основе изученных им геологических образований в Падуанской, Вичентинской и Веронской областях Италии. Он выделил четыре последовательно образовавшихся комплекса отложений: 1) первичные кристаллические породы, содержащие руды и характеризующиеся отсутствием органических остатков; 2) вторичные, плотные слоистые породы, сложенные известняками и мраморами с остатками морских организмов; 3) третичные, слабо консолидированные слоистые породы, состоящие из гравийных, песчаных, глинистых пород и мергелей, содержащих обычно многочисленные ископаемые остатки животных и растений; 4) рыхлые отложения террас и пойм современных рек, которые позднее получили название «четвертичных» и дали название четвертичной системе. Выделенные комплексы соответствуют современным стратиграфическим подразделениям: нижнему палеозою, мезозою + палеоцену, эоцену + плиоцену и кварталу. В особое подразделение выделялись им породы вулканического происхождения.

Однако местом подлинного формирования стратиграфических идей и их практического применения для геологического картирования явилась область герцинских массивов Центральной Германии. Здесь во второй половине XVIII в. независимо от исследований Дж. Ардуино в Италии, стратиграфические работы начинают проводиться на территории Тюрингии и Саксонии - старых культурных и горнопромышленных центров Германии. Изучению подвергается Тюрингенская впадина и её складчатое обрамление - горные массивы Гарца, Тюрингенского Леса, Гранулитовых, Лужицких, Рудных Гор и др.



Иоганн Готлоб Леман (1700-1767)

По сравнению со сложно складчатыми областями Италии, геологическое строение Тюрингии и Саксонии оказалось более благоприятным для развития стратиграфических представлений. Осадочный чехол, развитый здесь поверх складчатого герцинского основания легко поддавался стратиграфическому расчленению. Внимание исследователей к этим отложениям (а по современной классификации это в основном — каменноугольные, пермские и триасовые образования) в первую очередь привлекало наличие в них залежей каменного угля, соли и пластовых медных руд, издавна являвшихся в данных районах объектом разработки.

В 1759 г. появилась работа немецкого учёного И.Г. Лемана (1700-1767) «Опыт восстановления история флёцевых гор», базирующаяся на геологическом материале вышеназванных районов Германии. Он предложил расчленять породы земной коры на три крупные категории, причем в основу такого расчленения им были положены библейские представления. И.Г. Леман различал первозданные горы, сложенные кристаллическими породами без органических остатков и богатые рудами. Он выделял также горы, сформировавшиеся за счет смыва великим потоком почв с первозданных гор и переотложения их у основания последних. В этих осадках содержатся остатки погибших при потопе организмов. И.Г. Лемана допускал возможность постгенетических процессов, выразившихся в изменении, уплотнении и цементации этих осадков под воздействием внутреннего жара Земли и землетрясений. Рыхлые остатки он обособлял под названием наносных отложений.

Заметной вехой в становлении стратиграфии как науки было создание стратиграфической схемы Тюрингии, предложенной в 1762 г. Г.Х. Фюкселем (1722 – 1773) в своей опубликованной работе «История Земли и моря, установленная по истории Тюрингских гор». В ней он впервые применил параллельную классификацию отложений. Он расчленил разрез флёцевых отложений Тюрингии на девять серий, шесть из которых подразделил на подчиненные им статумены. Описав эти стратиграфические подразделения, Г.Х. Фюксель установил соответствующие хронологические единицы. При этом секулы и луструмы обозначались тем же названием, что и соответствующие им серии и статумены. Важно отметить, что «серия» рассматривалась Г.Х. Фюкселем как комплекс статуменов или слоёв, возникших в одинаковых условиях. Он отметил также, что отдельные серии различаются не только по литологическим особенностям, но и по содержащимся в них органическим остаткам. Подметив, что одни серии заключают лишь остатки наземных растений, а другие - морских животных, Г.Х. Фюксель сделал вывод о различных условиях образования соответствующих отложений и о чередовании этих условий в истории Земли. При этом в основу своих построений он положил актуалистический подход. Разрез в Тюрингии, составленный Г.Х. Фюкселем, дополнил схему И.Г. Лемана отложениями триаса, на основе которой Г.Х. Фюксель составил геологическую карту, приложенную к сочинению И.Г. Лемана. Термин

«формация» также был впервые введён в геологию Г.Х. Фюкселем. Все это позволяет рассматривать его как пионера в области разработки хроностратиграфической шкалы.

Однако, работа Г.Х. Фюкселя оставалась долгое время мало известной его современникам и только в 1840 г. она получила широкое признание после опубликования её основных положений Ф. Кеферштейном.



Абраам Готлоб Вернер (1749-1817)

Вскоре в Европе на длительное время главным авторитетом стал А.Г. Вернер (1749-1817). Он, опираясь на исследования предыдущих авторов, в основном на работы И.Г. Лемана, Г.Х. Фюкселя и других немецких геологов, а также на свои собственные исследования в Тюрингии и Саксонии, разделил толщи горных пород на четыре основные группы: первичные или первозданные (Urgebirge, то есть по нынешней версии изверженные. А.Г. Вернер был одним из главных непунистов и считал эти породы накапливающимися в первичном океане, где ещё не было жизни); переходные (Uberganggebirge), состоящие главным образом из глинистых сланцев и граувакковых пород (для этой группы, по мнению указанного автора, характерны появление первых окаменелостей); слоистые или флётцевые (Flötzgebirge), состоящие из известняка, красного песчаника, каменного угля, каменной соли, гипса (по мнению этого исследователя, эти породы возникли из пород первой группы и для них характерны многочисленные окаменелости); наносные (Aufgeschwemmtes Gebirge), которые являются продуктами выветривания последних.

В каждой из этих групп выделялись по петрографическим особенностям более дробные конкретные стратиграфические единицы, «горные породы». Таким образом, схема А.Г. Вернера представляла собой, по существу, региональную стратиграфическую схему ограниченной территории, для которой она отражала реальные соотношения геологических образований. Однако А.Г. Вернер приписывал установленной им последовательности залегания толщ горных пород универсальное значение, считая эту последовательность обусловленной общим изменением состава вод Мирового океана, в котором они отлагались. Такое возведение частных

(региональных) закономерностей в ранг всеобщего закона было принципиальной ошибкой, обусловившей несостоятельность схемы А.Г. Вернера в качестве универсальной стратиграфической шкалы.



Джеймс Геттон (1726-1797)

Шотландский геолог Дж. Геттон (1726-1797) в результате своих геологических наблюдений в Англии, Франции и главным образом в Шотландии, относительно геологического времени принимает гипотезу об огромных периодах, в течение которых происходили действия геологических сил. По его мнению, осадочные породы имеют двойное происхождение: песчаники и глинистые породы возникли на дне морей из материалов, образовавшихся путём разрушения материков, а известковые породы образовывались из раковин морских животных. Относительно магматических образований, Дж. Геттон сделал следующие выводы:

1) гранит и похожий на него порфир - вулканического происхождения и моложе пронизываемых ими пластов;

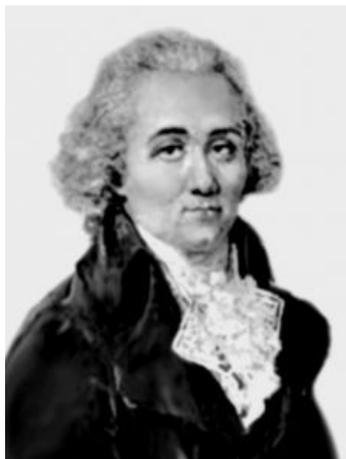
2) местами между пластами осадочных пород разлились первобытно огненно-жидкие породы.

Подытоживая всё вышесказанное можно заключить, что к концу XVIII в. были разработаны методы стратиграфического расчленения конкретных разрезов и их внутрирегиональной параллелизации на основе принципа последовательности напластования и литологических признаков. В то же время ещё отсутствовал надёжный метод отдалённой стратиграфической корреляции, необходимый для создания общей универсальной стратиграфической шкалы. Было введено представление о грандиозности масштабов времени геологической истории Земли.

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

В предшествующем изложении было показано, что появившаяся во второй половине XVIII в. геологическая дисциплина стратиграфия в период

своего возникновения и становления развивалась на основе литолого-петрографического метода, который оказался, однако, недостаточным для удовлетворительного решения задачи сопоставления разрезов удалённых далеко друг от друга. Эта задача была решена на базе палеонтологического метода, зародившегося на рубеже XVIII - XIX вв. Появилось новое направление в стратиграфии - биостратиграфия, которая сделала возможным определение относительного геологического возраста осадочных горных пород путём изучения распределения в них ископаемых остатков организмов и проведение на их основе сопоставления разрезов удалённых друг от друга областей.



Жан-Луи-Жиро Сулави (1752 – 1813)

Первый, додарвинский, этап развития биостратиграфии, характеризовавшийся господством в геологии идей катастрофизма, а в биологии - концепций креационизма и постоянства видов, неразрывно связан с именами двух основоположников использования палеонтологического метода для расчленения и корреляции осадочных толщ - В. Смита и Ж. Кювье. Но было бы несправедливо не упомянуть тот факт, что эти пионеры биостратиграфии имели предшественника в лице Жиро Сулави (1752 - 1813). Аббат Жиро Сулави написал доклад «Естественная история Южной Франции», который был опубликован в 1780 г. В главе VIII своего труда он говорил о налегании друг на друга различных слоёв известняков, последовательно образовавшихся под океаническими водами и содержащих различные ископаемые фауны. Он выделил на этом основании несколько эпох с различными комплексами ископаемых организмов.

Таким образом, Жиро Сулави был первым исследователем, установившим последовательную смену комплексов ископаемых организмов в разрезе осадочных напластований. Кроме того, он установил принцип «палеонтологической сукцессии» (от лат. *successio* – последование), то есть закономерной смены биоценозов во времени, не связанной с эволюционными изменениями видов, а с изменениями среды обитания.

На практике впервые показал возможность использования для стратиграфии ископаемых остатков организмов английский исследователь Вильям Смит (1769–1839). В. Смит был инженером-изыскателем. Работая на



Вильям Смит (1769–1839)

копях Сомерсетского угольного бассейна, он обследовал юго-восток Англии от г. Бата до Ньюкасла, то есть более 900 км, обратил внимание на природную закономерность в расположении органических остатков среди определённых слоёв и в 1799 г. составил таблицу с фауной юры и нижнего мела. С ее публикации в 1815 г. исчисляется выделение принципа биостратиграфического расчленения (слои, содержащие остатки сходных фаун и флор, являются одновозрастными), а также появление термина «стратиграфия». В. Смиту принадлежит также понятие «руководящие формы» среди органических остатков. На составленной им первой геологической карте было изображено 40 формаций, выделенных впервые. За создание биостратиграфического метода он был награжден первой Волластоновской медалью Британской академии наук.



Жорж Кювье (1769-1832)

Почти одновременно с исследованиями В. Смита осадочные породы Парижского бассейна изучали два французских исследователя Жорж Кювье (1769 - 1832) и Александр Броньяр (1770 - 1847). Они успешно применили палеонтологический метод для расчленения и параллелизации осадочных отложений Парижского бассейна. Таким образом, знаменитый основоположник палеонтологии Ж. Кювье выступил на научной арене как биостратиграф раньше, чем как палеонтолог. Составленное им совместно с геологом А. Броньяром геолого-минералогическое описание Парижского бассейна было впервые опубликовано в 1808 г. Это произошло на четыре года раньше выхода в свет его основного палеонтологического труда «Исследования ископаемых костей четвероногих». В состав этого труда вошёл расширенный вариант «Геолого-минералогического описания окрестностей Парижа». В отношении использования палеонтологических данных для стратиграфии Ж. Кювье и А. Броньяр ушли значительно дальше В. Смита, который пришёл к своим выводам эмпирически. Ж. Кювье на основе биологического подхода к ископаемым остаткам дал объяснение «палеонтологической сукцессии» - последовательной смены комплексов ископаемых в напластованиях различного геологического возраста. Биологический подход к изучению палеонтологического материала позволил Ж. Кювье использовать его не только для установления возрастных соотношений отдельных напластований, но и для их фациальной и палеогеографической характеристики.



Александр Броньяр (1770-1847)

Таким образом, благодаря трудам В. Смита, Ж. Кювье и А. Броньяра стратиграфия - обогатилась новым палеонтологическим методом. Быстрый рост стратиграфических исследований в первой половине XIX в. привёл к разработке на протяжении трех десятилетий первых вариантов общей международной стратиграфической шкалы. Последняя создавалась на основе региональных стратиграфических схем и первоначально представляла в значительной мере стратиграфическую схему Западной Европы.

Важным событием в развитии стратиграфии следует считать появление в 1822 г. в Англии работы В. Конибира и Дж. Филлипса «Геологический очерк Англии и Уэльса», в которой они сформулировали понятие геологической системы и выделили каменноугольную систему. Несмотря на то, что предложенная этими авторами схема стратиграфической классификации была построена на региональном геологическом материале Британских островов, она может рассматриваться как первоначальный вариант большей части современной общей международной хроностратиграфической шкалы. Однако большинство основных её подразделений, соответствующих современным системам, кроме карбона и мела, не получили принятых сейчас наименований. Эта работа рассматривается как начало становления стратиграфии, являющейся особой отраслью геологии.

Сопоставление геологических разрезов Англии и Центральной Европы позволило бельгийскому геологу Ж.Б. Д'Омалиусу д'Аллуа (1783-1875) выступить в 1831 г. с общими, синтезированными схемами осадочных образований, которые являлись прототипами расчленения верхнепалеозойских и мезозойских отложений в современной хроностратиграфической шкале.

Дальнейшее развитие стратиграфии шло стремительно, и уже к 40-ым гг. XIX столетия стратиграфическая шкала с выделением систем была разработана практически для всего фанерозоя. Меловая система была выделена Ж.Б. Д'Омалиусом д'Аллуа в 1822 г.; каменноугольная – английскими геологами В. Конибиром и Дж. Филлипсом в 1822 г.; юрская – А. Броньяром в 1829 г.; четвертичная – Ж. Денуайе в 1829 г.; триасовая – немецким горным инженером Ф. Альберти в 1834 г.; кембрийская – английским геологом А. Седжвиком в 1835 г.; силурийская – англичанином Р. Мурчинсоном в 1839 г.; девонская – А. Седжвиком и Р. Мурчинсоном в 1839 г.; пермская – Р. Мурчинсоном в России в 1841 г.

В 1841 г. Д. Филлипсом было предложено разделить все известные в то время системы на три группы – кайнозойскую, мезозойскую и палеозойскую.

Несколько позже были установлены недостающие подразделения хроностратиграфической шкалы: неогеновая система – в 1853 г. М. Хорнсом, палеогеновая система – в 1866 г. К.Ф. Науманом, архей – в 1872 г. Дж. Дэном, ордовикская система – в 1879 г. Ч. Лапвортом, протерозой – в 1887 г. С.Ф. Эммонсом.

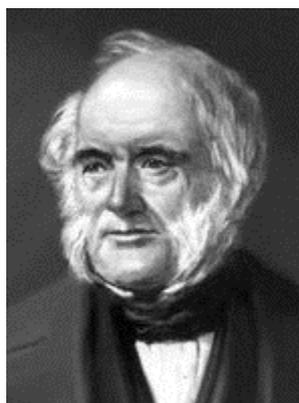
Особого внимания заслуживает работа А. Д'Орбиньи (1802–1857). В 1843 г. в монографии «Палеонтология Франции» он вводит понятия «ярус» и «зона» в составе геологической системы. Под ярусом он понимал временное состояние природы, подобное современному, со строго определенным комплексом организмов, сотворённое Богом и вымирающее в результате катастрофы. В разрезах юры и мела Франции выделялось 27 таких ярусов. Зоной он называл хронологическое подразделение с определённым

ископаемым видом, выбранным из числа встречающихся видов, со стратиграфическим интервалом яруса или его части.



Альсид Шарль д'Орбиньи (1802–1857)

А. Д'Орбиньи, будучи учеником основоположника учения о катастрофах Ж. Кювье, возвёл идеи катастрофизма в абсолют и принимал органические остатки даже из толщ более низкого ранга, чем система, за неповторимые следы непостижимых актов творения и тем самым стал на позиции мультикреационизма в отличие от своего учителя, который не всегда был последовательным катастрофистом, допуская приход новой фауны в определенную область из других мест обитания. Несомненно, концепции катастрофистов уводили палеонтологию, а вместе с ней и биостратиграфию от цели установления естественных этапов развития органического мира планеты как временной шкалы, подменяя их постулатами креационизма. Негативный отпечаток накладывали они и на проблемы воссоздания истинной картины развития Земли.



Чарлз Лайель (1797 – 1875)

Выход из этого кризиса теории был определён Ч. Лайелем (1797 – 1875), который сформулировал актуалистический метод в науке о Земле в

1830 г. По представлениям Ч. Лайеля, эволюция планеты происходила путем действия в течение длительного времени тех же факторов геологического развития, что действуют и ныне. Он предлагал расшифровывать геологическую историю Земли, зафиксированную в горных породах, путем тщательного изучения природных процессов сегодняшнего дня и идентификации их геологических результатов с таковыми развития Земли в отдалённые от нас эпохи.

Ф. Энгельс в своей работе «Диалектика природы» впоследствии указывал, что теория Ж. Кювье о претерпеваемых Землёй революциях была революционна на словах и реакционна на деле. На место одного божественного творения она ставила целый ряд повторных актов творения и делала из чуда существенный рычаг природы. Лишь Ч. Лайель внёс здравый смысл в геологию, заменив внезапные, вызванные капризом Творца, революции постепенным действием медленного преобразования Земли.

Следует отметить, что появление катастрофизма как учения, борьба с ним сторонников метода актуализма в развитии геологии характерны для западноевропейских стран. Российская школа геологов, за редким исключением, полностью восприняла актуалистические воззрения. Именно в таком методологическом плане были выполнены, например, геологические исследования русских учёных Д.И. Соколова (1939), В.М. Севергина (1898) и др.

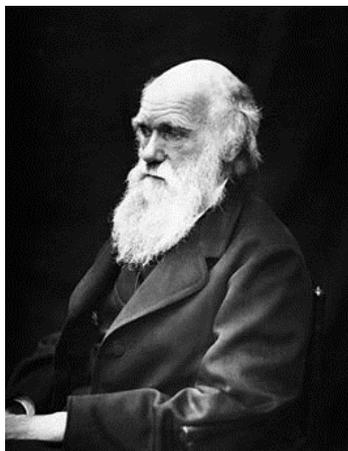
Дальнейшая детализация хроностратиграфической шкалы на базе палеонтологического метода была проведена А. Опелем (1831 - 1865), который в 1856 - 1858 гг., расчлняя отложения юрской системы Западной Европы, также использовал понятие «зона». Он рассматривал зоны как наиболее дробные стратиграфические подразделения, которые могут быть прослежены на обширной территории. Ярус понимался им как сумма зон. Это принято и в современной стратиграфии. Разработка метода зональной стратиграфии, получившего в дальнейшем широкое распространение и признание, явилась главной заслугой А. Опеля.

Таким образом, в додарвиновский период благодаря преимуществам палеонтологического метода были заложены основы хроностратиграфии и выделены геологические системы. Все это дает основание, вслед за немецким историком геологической науки и известным палеонтологом К. Циттелем, назвать данный этап развития геологии героическим.

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

Следующий этап развития стратиграфии, охватывающий вторую половину XIX в., может быть обозначен как дарвиновский этап или период торжества эволюционной идеи как в биологии, так и в науках о Земле. Выход в свет в 1859 г. основного труда Ч. Дарвина (1809 – 1882) «Происхождение видов» способствовало превращению палеонтологии из формально-

описательной науки об окаменелостях, какой она была к середине XIX в., в подлинную науку о развитии органического мира прошлых геологических эпох – палеобиологию. Следует подчеркнуть заслугу Ч. Дарвина не только как создателя эволюционного учения, но и как учёного, сумевшего с исключительной прозорливостью оценить значение эволюционизма для палеонтологии и геологии.



Чарлз Дарвин (1809 – 1882)

Наиболее важными для рассматриваемой нами отрасли геологических знаний оказались такие положения Ч. Дарвина:

1) развитие органического мира Земли – процесс, происходящий за огромный промежуток времени;

2) борьба за существование и естественный отбор есть движущие факторы эволюции жизни на Земле, обуславливающие постоянные и необратимые изменения органического мира;

3) эволюция органического мира в целом идёт от простого к сложному с существованием переходных форм между филогенетическими родственными таксонами и переходных фаун и флор, отстоящими друг от друга во времени фаунами и флорами;

4) существенные изменения в составе органического мира приурочены к переломным моментам крупных этапов развития планеты;

5) разные группы организмов имеют различную скорость и направленность эволюции и по-разному реагируют на изменения в абиотической и биотической среде;

6) масштабные геологические процессы, происходившие на Земле, предопределили неполноту геологической летописи, зафиксированной в литосфере, в том числе и неполноту летописи истории жизни.

Таким образом, дарвинизм вооружил палеонтолога методами установления филогенеза отдельных групп организмов, что явилось основой научной систематики и неизмеримо расширило возможности использования палеонтологического метода в стратиграфии. Учение о неполноте геологической и палеонтологической летописи, а также трактовка проблемы

вымирания организмов позволил правильно осветить вопросы развития и смены фаун и флор в истории Земли и понять природу и характер стратиграфических границ, устанавливаемых на основе палеонтологического метода. Проникновение эволюционизма в область естествознания ускорило становление исторической геологии и палеогеографии и окончательно утвердило геологию как историческую науку. Дарвинизм явился мощным импульсом для развития биостратиграфии.



Владимир Онуфриевич Ковалевский (1842 – 1883)

Учение Дарвина получило развитие в работах многих известных палеонтологов: Ф. Гильгендорфа, изучившего планорбисы миоцена Южной Германии, М. Неймара, описавшего ряды палюдин неогена Славонии, В. Ваагена, установившего эволюционные ряды юрских аммонитов, Л. Долло и О. Абеля, положившие начало палеосинэкологическим реконструкциям и др. В России последователями Ч. Дарвина были известные учёные-палеонтологи В.О. Ковалевский, А.П. Карпинский, С.Н. Никитин, Ф.Н. Чернышёв и другие учёные.

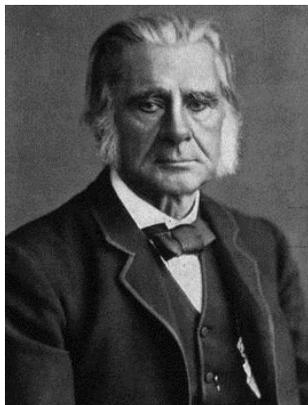


Александр Петрович Карпинский (1846 – 1936)

В.О. Ковалевский (1842 - 1883), опираясь на эволюционное учение Ч. Дарвина при изучении древних копытных млекопитающих, открыл закон адаптивной радиации. А.П. Карпинский (1846 - 1936) успешно применил биогенетический метод для выяснения филогении позднепалеозойских

аммоноидей и на основе чего уточнил стратиграфию пермских отложений. С именами С.Н. Никитина (1851 - 1909) и Ф.Н. Чернышёва (1856 - 1914) связаны не только достижения в познании стратиграфии верхнего палеозоя и мезозоя, но и разработка принципиальных и методических вопросов стратиграфии. Опубликованная ими в 1889 г. совместная работа, посвящённая итогам третьей и четвёртой сессий Международного геологического конгресса, впервые выдвигает основные положения стратиграфической классификации, сохраняющие актуальность и поныне.

Вторая половина XIX в. ознаменовалась успехами не только в области применения палеонтологического метода. Е. Реневье в 1889 г., развивая идеи А. Грессли, обосновал учение о фациях, в основе которого была положена одновозрастность сравниваемых отложений. Известен он также как автор первого варианта Международной хроностратиграфической шкалы, представленной им на пятой сессии Международного геологического конгресса в Париже.



Томас Генри Гексли (1825-1895)

Т. Гексли (1825-1895) назвал параллелизм смен гомотаксисом и высказал в более радикальной форме мысль о разновозрастности гомотаксальных (занимающих одинаковое положение в параллельных сукцессионных рядах) фаун и флор. Согласно ему надо говорить не об «одновременности», а об «однопорядковости» (гомотаксальности) сопоставляемых слоёв.



Николай Алексеевич Головкинский (1834 – 1897)

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

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

Существенную роль в развитии стратиграфии России 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. Чернышёва Геологического комитета. Перед этим учреждением была поставлена задача систематического изучения геологического строения России и составления общей геологической карты страны. Несмотря на ограниченный штат сотрудников, Геологический комитет сразу же после его организации приступил к составлению 10-вёрстной геологической карты важнейших горнопромышленных областей. Это позволило Геологическому комитету собрать богатейший геологический материал по различным регионам до конца XIX в. и опубликовать ряд крупных работ, освещающих стратиграфию изученных территорий. Это усилило интерес к разработке стратиграфической классификации и другим вопросам общей стратиграфии.

Всего с 1878 по 1900 г. состоялось восемь сессий Международного геологического конгресса. На всех этих сессиях вопросы стратиграфии, особенно стратиграфической классификации и терминологии, занимали ведущее место.

Первый Международный геологический конгресс, собравшийся в 1878 г. в Париже, создал комиссию для разработки проекта унификации стратиграфической и геохронологической терминологии во главе с М. Эбером (Франция) и секретарем Ж. Девальком (Бельгия). В её работе принимало участие семь русских членов конгресса, в том числе известный палеонтолог и стратиграф В.Н. Мёллер, который предложил разработанную им на русском материале стратиграфическую схему каменноугольных отложений.

На второй сессии Международного геологического конгресса, проходившей в Болонье в 1881 г., были приняты основные подразделения Международной, или Общей стратиграфической и геохронологической шкалы. Одобрение получило российское предложение. В результате второй Международный геологический конгресс утвердил следующие термины: «минеральные массы» - элементы, слагающие земную кору; среди них - «горные породы» (в отношении их состава) и «формации» (с генетической точки зрения). Геохронологические и стратиграфические понятия были приняты в виде рангово-соподчиненных систем, причем каждой единице одной из них соответствует одноранговое подразделение другой: период – система; эпоха – отдел; век – ярус.

Принятая вторым Международным геологическим конгрессом стратиграфическая классификация отражала точку зрения полного соответствия стратиграфических и геохронологических подразделений,

выражающих естественные этапы геологической истории, и потому стратиграфические подразделения могли обосновываться комплексно (совпадающими палеонтологическими, седиментационными, палеогеографическими и тектоническими особенностями). В стратиграфии эта позиция, разработанная преимущественно трудами специалистов из стран Европы, стала называться Европейской стратиграфической школой, или концепцией единства стратиграфии.

Почти одновременно появилось альтернативное направление в стратиграфии. Основателем его стал американец Г.С. Вильямс (G. Williams), который в 1894 г. писал о категорическом несоответствии глобальных временных подразделений и многочисленных местных или региональных стратотипов. Первые имеют изохронные границы, основаны на сравнении со специально избранными стратотипами и выражают эволюцию органического мира. Вторые диахронны, соответствуют конкретным породным последовательностям и «может существовать столько формаций, сколько существует изученных разрезов стратифицированных пород». Так появилась «американская стратиграфическая школа» с основным стратиграфическим понятием «формация», или концепция «множественных стратиграфий», активно дискутирующая с Европейской школой до настоящего времени.

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 восемь сессий Международного геологического конгресса. Однако в связи с тем, что стратиграфические исследования в этот период ограничивались в основном территорией Европы, то разработанная Международная шкала явилась фактически лишь европейской, точнее даже западноевропейской, межрегиональной шкалой.

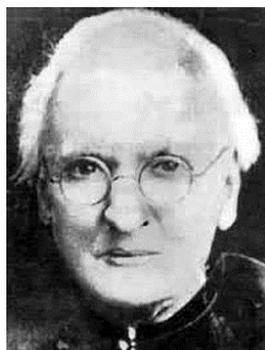
Это обстоятельство подтолкнуло к дальнейшему развитию стратиграфии в направлении разработки самостоятельных шкал в Соединенных Штатах Америки, Индии и Китае.

1.5. Новейший этап развития стратиграфии (XX в.)

Начало XX в. ознаменовалось рядом фундаментальных открытий в большинстве областей естествознания, которые повлекли в ряде случаев коренной перелом в исходных теоретических положениях соответствующих наук. Эти крупные открытия не могли не найти своё отражение и в стратиграфии.

Существенные достижения в области различных геологических дисциплин, особенно литологии и учении о фациях, петрографии, тектоники, геохимии, а также разработка точных методов в геологии, в частности

геофизических методов исследования земной коры, оказали огромное влияние на стратиграфию. Появился целый ряд новых методов стратиграфического расчленения и корреляции, и произошло совершенствование ранее существовавших методов. Претерпел своё второе рождение старейший литолого-стратиграфический метод, которому отводится важнейшая роль при разработке местных и региональных схем. Широкое применение методов изучения вещественного состава осадочных толщ привело к разработке метода микропетрографической корреляции. Развитие тектоники и учения о фазах тектогенеза обусловили возникновение тектоностратиграфического метода, который использовал для выделения границ стратиграфических подразделений различного типа несогласия, фиксирующие проявление складкообразовательных и колебательных движений. Данный метод в сочетании с литологическим и биостратиграфическими методами стал иметь большое значение для выделения комплексов отложений, отвечающих естественным этапам геологического развития региона или осадочного бассейна. Однако попытки применить тектоностратиграфический метод для планетарной корреляции не увенчались успехом. В Советском Союзе тектоностратиграфический метод впервые был применён М.А. Усовым (1883 – 1939) для территории Западной Сибири.



Амадеус Уильям Грэбо (1870 - 1946)

Наряду с тектоностратиграфическим методом возник и ритмостратиграфический метод для расчленения и корреляции главным образом региональных стратиграфических схем, основанный на изучении цикличности осадконакопления, которая отражает, прежде всего, колебательные движения земной коры, но в некоторых случаях может быть связана с климатическими циклами, что имеет место при образовании отложений типа ленточных глин или гидрoхимических осадков. Некоторыми исследователями предпринимались попытки установления планетарных циклов развития земной коры и использования их в стратиграфии. Наиболее интересным опытом подобного рода являлась разработанная американским геологом и палеонтологом А. Грэбо (1870 - 1946) на основе пульсационной теории новая стратиграфическая шкала палеозоя, которая, однако, не получила сколь-нибудь широкого признания.

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

Стремительное развитие геофизических методов, особенно в практике нефтяной и газовой геологии, увенчалось значительными успехами в области их применения для корреляции разрезов буровых скважин, особенно при бескерновом бурении. В 50-х гг. XX столетия в группе геофизических методов стратиграфических исследований возник новый, быстро развивающийся и перспективный, палеомагнитный метод.

Для корреляции осадочных толщ, не выходящих на дневную поверхность Земли или расположенных ниже дна океана или моря, широко стал использоваться сеймостратиграфический метод, основанный на отражении сейсмических волн от слоёв разной плотности. Этот метод позволяет получить как бы геологический профиль на расстоянии десятков километров и по специфическому рисунку отражений сейсмических волн от кровли и подошвы различных слоёв проследить их и коррелировать между собой. Сеймостратиграфия очень широко стала использоваться при поисковых работах на газ и нефть. Благодаря ей стало возможным быстро выделять места, благоприятные для скопления углеводородов.

На протяжении рассматриваемого этапа развития стратиграфии возникли также методы абсолютной геохронологии, из которых наибольшего успеха добились радиометрические (изотопно-геохронологические) методы, нашедшие особенно широкое применение в стратиграфии докембрийских отложений. Радиометрические методы определения возраста горных пород основаны на явлении постоянной скорости радиоактивного распада и образования его продуктов в минералах, содержащих определенное количество радиоактивных элементов. Зная скорость распада данного элемента, сведения о которой получают экспериментальным путем, производится расчет времени, необходимого для образования того количества продуктов распада, которое сопутствует в минерале радиоактивному элементу. Таким образом, радиометрическими методами стало возможно определять возраст горных пород в единицах времени.

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

Биостратиграфический метод в XX в., несмотря на кризисные тенденции в эволюционном учении, продолжал совершенствоваться. Опирается на изучение ископаемых остатков организмов, то есть на палеонтологию, а последняя являясь наукой биологической, соответственно, много теоретических новшеств переняла у биологии. В частности палеонтология использовала новейшие достижения генетики, новые

тенденции в механизмах видообразования, учение о популяции как элементарной эволюционной единице и ряд других открытий.

Другой стороной развития палеонтологии, а, следовательно, и биостратиграфии являются крупные достижения, связанные с совершенствованием методов и техники палеонтологических исследований. Стали широко использоваться современные оптические приборы, электронные микроскопы, что позволило использовать для биостратиграфического расчленения различные группы микроорганизмов, включая микрозоофоссилии - микроскопические остатки животных: раковины простейших (радиолярий, фораминифер) и ракообразных (остракод), зубчики челюстного аппарата аннелид (сколекодонты), а также мелкие части крупных организмов (спикулы губок, иглы и пластинки морских ежей, членики морских лилий, склериты голотурий, чешуи и различные микромерные фрагменты экзоскелета бесчелюстных, зубы, чешуи, отолиты и плавниковые шипы рыб, конодонты и др.); микрофитофоссилии (акритархи, динофлагеллаты, панцири диатомовых водорослей, известковые нанофоссилии, гифы грибов, споры и пыльца высших растений, оогонии харовых водорослей и др.); микроскопические образования проблематичного происхождения (хитинозои и др.) и фекальные остатки беспозвоночных - микрокопрафоссилии. Это обеспечило обнаружение палеонтологических объектов, особенно микрофоссилий, в отложениях, ранее считавшихся немymi в палеонтологическом отношении. Массовость полученного материала предоставляет возможность более точной диагностики и применения популяционного анализа с изучением формообразования. Таким образом, палеонтология на протяжении рассматриваемого этапа развития стратиграфии выросла и получила новые возможности для повышения надёжности и точности применения для стратиграфического расчленения и корреляции. Она значительно расширила и стратиграфический диапазон области своего применения по сравнению с предшествующим периодом, включая в сферу действия палеонтологического метода верхний протерозой. Палеонтологический метод, возникший первоначально как «метод руководящих форм», трансформировался в целый комплекс палеобиологических методов, успешно решающих задачи самого различного масштаба, от разработки местных детальных стратиграфических схем до создания Общей хроностратиграфической шкалы.

Еще одной характерной чертой рассматриваемого этапа развития стратиграфии является расширение и усложнение стоящих перед ней задач в связи с возрастающими запросами геологической науки и практики геолого-съёмочных и геологоразведочных работ. Имеется в виду, прежде всего, территориальное расширение стратиграфических исследований. Геологическая съёмка и поиски полезных ископаемых охватили поверхность всех континентов, а бурение параметрических скважин не только позволило изучать разрезы всего осадочного чехла геологически закрытых территорий на материках, но и выйти на просторы акваторий морей и океанов. Все это

поставило перед стратиграфией задачу совершенствования методов отдалённой - межконтинентальной и глобальной корреляции. С другой стороны, запросы практики, в частности нефтяной и газовой геологии, продиктовали необходимость разработки методов очень дробного («сверхдетального») стратиграфического расчленения разрезов осадочных толщ, что особенно важно при поисках и разведке залежей нефти и газа неструктурного типа. В этих очень детальных стратиграфических схемах, разработанных применительно к ограниченным территориям, стали заинтересованы подчас и другие области прикладной геологии.

Таким образом, с одной стороны, произошло весьма быстрое накопление принципиально нового фактического материала по стратиграфии, а с другой стороны, стали предъявляться более высокие требования к точности и надёжности стратиграфических построений.

Так, в целях повышения эффективности и надёжности стратиграфических исследований в 1930 г. в США создаётся Объединённый комитет по стратиграфической номенклатуре, который в 1933 г. предложил первый Стратиграфический кодекс. Принятая стратиграфическая классификация представляла собой единую систему единиц двойной (временно-стратиграфической) номенклатуры от планетарного до локального значения. В данной последовательности отсутствовал ярус, что сразу же вызвало ожесточённую дискуссию и в североамериканской общественности. Но, может быть, самая важная особенность классификации - признание в качестве важнейшего стратиграфического подразделения регионального значения формации. Это противоречило решению второго Международного геологического конгресса, по которому формация не должна была включать понятие о возрасте. С 1933 г. этот термин до сих пор отличает (и можно сказать во многом определяет) американский подход к стратиграфии.

В то же время в представлениях европейских стратиграфов понятие «ярус» занимало одно из важнейших мест.

В 1941 г. Х.Г. Шенк и С.У. Мюллер предложили использовать три независимые (слабозависимые) категории стратиграфических подразделений:

Геохронологические (временные)	Хроностратиграфические или временно- стратиграфические	Литостратиграфические (картографические)
Эра	-	Группа
Период	Система	Формация
Эпоха	Отдел	Пачка, линза, клин
Век	Ярус	Слои
-	Зона	Слой, пласт, прослой

Категория временно-стратиграфических единиц по сути своей является биостратиграфической. В последующем развитие стратиграфии пошло по

пути выделения множества категорий стратонов, количество которых всё возрастает.

В то же время, в конце 1930-х - начале 1940-х годов, американские биостратиграфы предлагают выделять самостоятельную категорию собственно биостратонов на основании исследований С.С. Бакмана, К. Динера, В.Д. Аркелла и др.

В 1946 г. в США была учреждена Американская комиссия по стратиграфической номенклатуре, объединившая представителей всех геологических служб страны во главе с геологом Р. Муром. Она ставила своей задачей разработку принципов стратиграфии, принятие правил в области классификации и номенклатуры стратонов, а также рекомендаций по изменению этих правил. Р. Мур предложил составить новый Стратиграфический кодекс на основе предложений Х.Г. Шенка и С.У. Мюллера.

На девятом Международном геологическом конгрессе в 1952 г. в Алжире вновь вернулись к рассмотрению проблем стратиграфической классификации и номенклатуры. Была образована новая Международная подкомиссия по стратиграфической терминологии во главе с Х.Д. Хедбергом (1903-1988).



Борис Сергеевич Соколов (1914 - 2013)

Немало важным достижением в области стратиграфии за рассматриваемый период было открытие российскими геологами крупных подразделений верхнего докембрия. В 1945 г. Н.С. Шатский (1895 - 1960) выделил рифейскую группу, а в 1950 г. Б.С. Соколов (1914 - 2013) – вендскую систему. Важное значение имело открытие в вендских отложениях Австралии (а за тем и других материков) богатой фауны бесскелетных беспозвоночных, получивших название эдиакарской по месту её обнаружения. Она была впервые описана М.А. Голсекером, эмигрантом из Австрии, долгое время прожившим в России.

В 1955 г. был образован Межведомственный стратиграфический комитет (МСК), призванный решать общие методические и спорные вопросы стратиграфии для территории СССР. В структуру МСК вошел ряд региональных межведомственных стратиграфических комиссий (РМСК) и

постоянных комиссий по стратиграфии отложений всех систем. МСК осуществлял также разработку методических вопросов стратиграфии, в частности стратиграфической классификации, терминологии и номенклатуры. МСК стал возглавлять подготовки Стратиграфических кодексов.

В 1961 г. появился новый Стратиграфический кодекс США, текст которого, в общем, соответствовал предложениям Х.Д. Хедберга. Параллельно за сравнительно небольшой промежуток времени (50-е - 60-е гг.) Стратиграфические кодексы появились во многих странах, но большинство из них достаточно четко отражает влияние одной из альтернативных тенденций: «американской» следовали стратиграфические кодексы США (1961), Австралии (1959), Норвегии (1961), Пакистана (1962), Новой Зеландии (1967) и некоторые другие; «европейской» — Стратиграфические кодексы Чехословакии (1960), Франции (1962), КНР (1965), ЮАР (1965), Англии (1967) и некоторые другие.

В это же время публикуется целый ряд книг и статей, развивающих теорию стратиграфии и оказавших более или менее серьёзное влияние на её развитие. Среди них надо отметить работы Д.Л. Степанова «Принципы и методы биостратиграфических исследований» (1958), К. Данбара и Дж. Роджерса «Основы стратиграфии» (1962), Т. Г. Николова «Биостратиграфия» (1977), многочисленные статьи В.В. Меннера, М. С. Месежникова, А. И. Жамойды, Б.С. Соколова, Б.М. Келлера, Л.Л. Халфина, О. Шиндевольфа, А. М. Садыкова и многих других. Все они были посвящены общим вопросам науки и более или менее серьёзно участвовали в дискуссии сторонников «американской» и «европейской» концепций.

Кроме собственной стратиграфической теории специалисты разных стран пытались решать конкретные вопросы объёма и состава подразделений Международной стратиграфической шкалы и положения их границ. Именно в эти годы широко развернулись исследования по уточнению и конкретизации Международной стратиграфической шкалы, оказавшие большое влияние на теорию стратиграфии. Особо следует отметить разработку проблемы границы силурийской и девонской систем. Она проводилась большим международным коллективом специалистов стратиграфов и палеонтологов обеих систем на протяжении 14 лет (с 1958 по 1972 гг.) на основании переизучения практически всех представительных разрезов пограничных отложений и эволюции различных групп ископаемых организмов. В результате граница была установлена соглашением большинства участников исследований как точка в слое 20 (мощностью 7 - 10 см) разреза Клонка близ Праги, чуть ниже слоя с многочисленными остатками граптолитов *Monograptus uniformis*. Этот вывод был утвержден 24-м Международным геологическим конгрессом (Монреаль, 1972). Так был создан прецедент согласованного выбора глобального стратотипа стратиграфической границы - «точки глобального стратотипа стратиграфической границы» (ТГСГ), - Global Stratotype Section and Point

(GSSP), который ныне МКС признан ведущим способом для определения рубежей Международной стратиграфической шкалы.

Активно стали развиваться международные связи советских стратиграфов с зарубежными учёными, что проявилось в создании Международной комиссии по стратиграфии, а также Международной программы геологической корреляции при ЮНЕСКО.

В 1978 г. в СССР был опубликован Международный стратиграфический справочник под редакцией Х.Д. Хедберга, а в 1994 г. под редакцией профессора Техасского университета А. Сальвадора вышло в свет второе издание Международного руководства (справочника) по стратиграфии.

В 1983 г. на Международном симпозиуме, посвященном границам ярусов меловой системы, Международной комиссии по стратиграфии снова делается ярко выраженный акцент на стратиграфические границы. Развивается концепция GSSP, которая становится стандартом для установления и распознавания границы между двумя стратиграфическими (хроностратиграфическими) единицами.

Стоит также отметить, что в последние годы XX столетия стали бурно развиваться такие направления стратиграфии как событийная стратиграфия, которая использует для корреляции кратковременные геологические явления или события, запечатлённые в признаках горных пород и секвентная стратиграфия, которая представляет собой направление, нацеленное на выявление и интерпретацию в осадочных толщах следов колебаний уровня моря и разворачивание детальных исследований строения, функционирования и эволюции осадочного палеобассейна на этой основе.

Резюмируя все вышеприведённое, можно сказать, что в XX в. стратиграфия обогатилась новыми методами исследований, стала более детальной и точной.

1.6. Современное состояние стратиграфии и её ближайшие перспективы (начало XXI в.)

Начало XXI в. можно считать началом важного этапа развития стратиграфии. Этот этап связан, во-первых, с дальнейшей детализацией стратиграфических шкал, с внесением существенных поправок во многие региональные стратиграфические схемы разных стран, с происшедшими изменениями в Международной стратиграфической шкале, широким внедрением в стратиграфическую практику, наряду с традиционными палеонтологическим, палеоэкологическим и палеогеографическим методами, новых приёмов событийно-стратиграфического, циклостратиграфического, астростратиграфического, сейсмостратиграфического, хемотратиграфического, магнитостратиграфического и других методов. Во-вторых, стратиграфия всё больше уделяет внимания мировоззренческим вопросам геологии - прежде всего расшифровке истории развития Земли и её

биосферы. Это направление можно назвать с общегеологических позиций стратегическим (Гладенков, 2013).

В настоящее время отчетливо проявляются два переплетающихся и взаимодополняющих друг друга направления стратиграфии. Одно из них – традиционная, так называемая классическая стратиграфия, которая направлена на дальнейшую детализацию стратиграфических схем на базе комплексного использования разных методов при главенстве, если говорить о фанерозое, биостратиграфического. Другое направление в стратиграфических исследованиях всё больше усиливает геоисторическое и причинное начала, которые реализуются в эко-событийно-динамической стратиграфии. Стратиграфия представляется в этой связи разделом геологии, отражающим, прежде всего, исторический ход развития палеосистем и биосферы (Гладенков, 2013).

Осознанно или же интуитивно стратиграфы всё чаще обращаются к стратиграфии экосистем, которое основывается на давних идеях В.И. Вернадского (1926) о биосфере и «былых биосферах». Представление В.И. Вернадского о континуальности биосферного процесса на Земле в течение всего времени её развития уже стало основой широкомасштабного экосистемного анализа стратисферы, включая этапность её формирования и критические рубежи в её истории. Этот анализ охватывает различные по масштабу объекты - от элементарных бассейнов (бассейновая стратиграфия) до былых биосфер в целом. Данное направление исследований имеет не какой-то умозрительный характер, но и практический смысл, так как затрагивает стратиграфию отдельных регионов или их частей. И постепенно такого типа экостратиграфия стала приобретать основу логической и методической стабильности, связывающей этот раздел науки.

Исходя из вышеуказанного, и согласно Ю.Б. Гладенкову (2013), стратиграфию XXI столетия можно назвать «биосферной стратиграфией» (или стратиграфией прошлых биосфер). В последние годы разные проблемы развития биосферы были отражены, например, в серии статей Б.С. Соколова (Соколов, 2010), которые привлекают внимание широким философским подходом к синтезу накопленных в этом отношении данных.

Анализируя основные достижения стратиграфии, которые она достигла к рубежу XXI столетия, можно попытаться привести её приоритетные задачи на будущее. Это:

1) создание стратиграфических шкал нового поколения, более детальных и обоснованных, для фанерозоя не только ярусных, но и зональных и инфразональных, на базе комплексного использования разных методов;

2) разработка теоретических и практических основ дробного расчленения древних толщ, которая предусматривает, с одной стороны, углубление теории стратиграфии и совершенствование системы стратиграфической классификации и номенклатуры; с другой - отработку методов и приёмов стратиграфического расчленения и широких

ультраточных корреляций, с определением разрешающей способности каждого метода и его корреляционных возможностей;

3) решение одной из главных проблем всей геологии - определение естественной периодизации истории Земли или её частей, то есть выявление путей и основных этапов формирования и развития стратисферы, биосферы и её главных блоков - океанов и континентов;

4) использование стратиграфических данных для выявления определённых временных уровней местоположений полезных ископаемых, от решения которых зависит будущее многих поколений населения разных стран.

Резюмируя всё вышесказанное, ясно, что стратиграфия не только прикладная наука, но и теоритическая, даже философская, которая имеет общечеловеческое методологическое значение мировоззренческого уровня, занимающаяся расшифровкой естественной этапности геологического развития Земли через анализ «былых биосфер».

Будущее стратиграфии заключается в развитии новых её направлений и усовершенствовании и развитии старых, например, таких направлений как:

- раскрытие сути проявления геологических процессов и их корреляцию (эволюция биоты, климатические изменения, поверхностные и глубинные процессы, катастрофические явления и др.);

- динамическая стратиграфия - изучение геологических и биологических процессов и событий прошлого;

- биосферная стратиграфия - стратиграфия ископаемых биосфер, или по В.И. Вернадскому «былых биосфер»;

- событийная стратиграфия - изучение событий, документируемых в разрезах, и их использование в качестве опорных хронологических рубежей для совершенствования временной корреляции осадочных, вулканогенно-осадочных и метаморфических толщ;

- магнитостратиграфия – дальнейшее развитие этого направления стратиграфии, направленное на изучение инверсии магнитных полюсов, полосовые магнитные аномалии;

- сравнительно-планетарная стратиграфия – стратиграфия, направленная на изучение космических тел солнечной Системы (планет, спутников планет и др.);

- галактическая стратиграфия – влияние и отражение галактических процессов в земных слоях.

Глава 2. Основные понятия в стратиграфии

2.1. Определение науки «стратиграфия»

Стратиграфия является самостоятельным фундаментальным разделом геологии. Термин «стратиграфия» буквально означает описание слоёв (от лат. *stratum* - слой и греч. *graphio* - пишу). Некоторые специалисты считают, что сам термин «стратиграфия» устарел, так как описание (*graphio*) - не наука и её следует называть «стратилогией» или «стратологией» по К. Данбару и Дж. Роджерсу (1962) (так же, как петрология заменила петрографию). Однако подобные предложения носят сугубо формальный характер, не меняя существа дела. В настоящее время существует несколько определений этой науки, часто встречающихся в геологической литературе и близких по смыслу. Например: «Стратиграфия – раздел исторической геологии, охватывающий вопросы исторической последовательности, первичных взаимоотношений и географического распространения осадочных, магматических и метаморфических образований, слагающих земную кору и отражающих естественные этапы развития Земли и населявшего её органического мира» (Ротай, 1960); «Стратиграфия – фундаментальный раздел геологической науки, изучает последовательность отложений во времени, выявляет соотношения комплексов горных пород в пространстве, определяет границы и восстанавливает закономерности их образования, периодизацию геологической истории отдельных регионов, континентов и планеты в целом» (Краснов, Морозов, 1990); «Стратиграфия – геологическая дисциплина, изучающая временные и пространственные соотношения нормально пластующихся толщ горных пород земной коры» (Степанов, Месежников, 1979); «Стратиграфия – геологическая наука, изучающая пространственно-временные отношения геологических тел породно-надпородного уровней организации с целью создания стратиграфической классификации и построения полнозаданного геологического пространства, то есть раскрытия законов структуры геологического пространства» (Карогадин, 1985); «Стратиграфия – изучает пространственно-временные отношения комплексов горных пород (или просто геологических тел) в Земной коре» (Мейен, 1989); «Стратиграфия – это раздел геологии, изучающий последовательность формирования комплексов горных пород в земной коре, первичные их соотношения в пространстве и периодизацию геологической истории» (Жамойда, 1989); «Стратиграфия занимается описанием всех горных пород земной коры и их организаций (упорядочением) в отличительные, полезные и картируемые подразделения, основанные на их свойствах или признаках, для установления их распределения и взаимоотношения в пространстве и последовательности во времени, также для интерпретации геологической истории» (Международный стратиграфический..., 2002); «Стратиграфия – это раздел геологии, который занимается, во-первых, расчленением горных пород с

исторической и хронологической точек зрения, а во-вторых, - разработкой хронологической шкалы для датирования геологических событий» (Гладенков, 2004).

В данном учебном пособии принято следующее определение этой науки: «Стратиграфия - это фундаментальный раздел геологической науки, изучающий пространственно-временные взаимоотношения супракрустальных осадочных, вулканогенных и метаморфических образований, слагающих земную кору и отражающих естественные этапы развития Земли и населяющего её органического мира».

2.2. Объект, предмет, цели и задачи стратиграфии

В настоящее время одним из главных предметов дискуссии среди геологов является вопрос о включении в сферу изучения стратиграфии интрузивных и высокометаморфизованных геологических тел. В России идею о включении этих геологических тел поддерживают 2/3 геологов, считающих, что эти тела несут геохронологическую нагрузку, хоть и не всегда подчиняются принципу суперпозиции (залегает выше – значит моложе). В зарубежных руководствах по стратиграфии также большинство геологов включают эти тела в сферу изучения стратиграфии, выделяя их в литостратиграфические подразделения особого рода. В России, например, изучение интрузивных и высокометаморфизованных геологических тел регламентируется Петрографическим кодексом России (2009).

Однако основным *объектом* изучения стратиграфии являются геологические тела, представляющие собой нормально пластуемые толщи осадочных, вулканогенных и метаморфических горных пород. При этом изучается не состав и свойства этих пород, что является предметом других наук (литологии, петрографии, геофизики), а пространственно-временные соотношения геологических тел; реконструируется система координации геологических событий в пространстве и времени.

Предметом стратиграфии являются стратиграфические границы и ограничиваемые ими интервалы нормальной последовательности слоёв - стратиграфические подразделения (стратоны). Определение этого важного понятия стратиграфии будет дано ниже.

Главная *цель*, или конечная задача стратиграфии, – разработка хронологической шкалы для датирования геологических событий и естественной периодизации геологической истории. Она достигается решением трёх частных *задач*:

- 1) расчленение разрезов и установление стратиграфических подразделений для отдельных участков земной коры;
- 2) корреляция стратиграфических подразделений и разработка стратиграфических схем местного и регионального значения;

3) межрегиональная корреляция выделенных стратонов и их корреляция с Международной стратиграфической шкалой, детализация, уточнение и совершенствование последней.

Перечень задач стратиграфии отражает стадии стратиграфических исследований.

Первым этапом любых стратиграфических исследований является описание разреза (керна скважины). Одновременно производится и первичное расчленение разреза на отдельные слои, комплексы слоёв, которые характеризуются изменением определённых наблюдаемых признаков: перерывов, смены литологического состава, смены органических остатков. Все эти признаки должны учитываться в комплексе, так как связаны общностью истории развитая района или бассейна седиментации. Расчленение разрезов сопровождается выделением стратиграфических подразделений местного значения. Местные стратиграфические подразделения – это совокупность горных пород, которая выделяется по стратиграфическому положению в местном разрезе на основании комплекса признаков, четко различающихся от смежных подразделений как по разрезу, так и по площади и обычно узнаваемых при полевых работах. При этом учитываются фациальные, минералогические, геохимические, геофизические, литологические или петрографические особенности. При выделении стратиграфических подразделений устанавливается последовательность их напластования, то есть порядок их расположения в разрезе «выше» или «ниже» и выделяется «нормальность» или «опрокинутость» разреза.

Вторым этапом стратиграфических исследований является сопоставление или корреляция отдельных частных разрезов и установление сводных стратиграфических схем района (опорных и типовых стратиграфических разрезов). Задача корреляции на втором этапе – это установление возрастных соотношений местных стратонов в сравниваемых разрезах, которые характеризуются фациальной изменчивостью отложений по простиранию. При этом определяется относительный возраст пород. После проведения границ стратонов и установления последовательности их формирования можно перевести отношения «выше – ниже» в отношения «моложе – древнее», то есть осуществить переход от стратиграфической шкалы к геохронологической. Корреляция и синтез местных разрезов сопровождаются построением региональных стратиграфических схем.

Третьим этапом является корреляция региональных стратиграфических схем и привязка их к Международной стратиграфической шкале.

2.3. Стратиграфические подразделения

Стратиграфия изучает не просто горные породы, а такие их объединения - стратиграфические подразделения, которые позволяют установить их пространственно-временное положение в разрезе земной коры.

Определение этого важного понятия стратиграфии можно сформулировать следующим образом: «*Стратиграфическое подразделение*, или *стратон* - это совокупность горных пород, занимающая определённое положение в последовательности геологических тел, слагающих земную кору, и характеризующаяся каким либо признаком или комплексом признаков». Такими признаками могут быть состав и свойства пород, слагающих данное подразделение, ископаемые остатки организмов и т. д.

Поверхности, отделяющие друг от друга стратиграфические подразделения, называются *стратиграфическими границами*. Более древняя граница (нижняя при ненарушенном залегании слоёв) называется *подошвой*, а более молодая (верхняя) *кровлей*. Максимальный интервал между кровлей и подошвой называют *объёмом стратиграфического подразделения*.

Для каждого стратиграфического подразделения можно выделить период времени, в течение которого накапливались слагающие его горные породы. Этот период или определённый интервал геологического времени называют *геохронологическим подразделением*. Таким образом, каждому стратиграфическому подразделению соответствует эквивалентное ему геохронологическое.

2.3.1. Принципы выделения стратиграфических подразделений

Среди геологов нет единства взглядов на принципы выделения стратиграфических подразделений. В стратиграфии исторически сложились две различные концепции или научные школы. Первая концепция («единства стратиграфии» или «европейская») определяет стратиграфические подразделения как части земной коры, соответствующие определённым этапам геологической истории, то есть естественные образования. Вторая концепция («множественности стратиграфий» или «американская») рассматривает стратиграфические подразделения как совокупности горных пород, выделенные по какому-либо определённому признаку, то есть допускает искусственное, субъективное выделение стратонов, основанное на договорённости специалистов.

2.3.2. Классификация стратиграфических подразделений

Различными исследователями предлагалось множество вариантов классификации стратиграфических подразделений. Некоторые из этих вариантов были официально закреплены в национальных стратиграфических кодексах разных стран, например, в Стратиграфическом кодексе России (2006) и Североамериканском стратиграфическом кодексе (2005).

В зависимости от методов, используемых при их выделении и обосновании, могут выделяться следующие категории стратиграфических подразделений:

- *Литостратиграфические подразделения* основаны на литологических свойствах горных пород.

- *Морфолитостратиграфические подразделения* - категория подразделений, выделяемые по литологическим свойствам в Стратиграфическом кодексе России (2006).

- *Литодемические подразделения* сложены сильно деформированными и/или метаморфизованными породами, а также интрузивными породами. В Североамериканском стратиграфическом кодексе (2005) выделяются в самостоятельную категорию. В Международном стратиграфическом справочнике (2002) подобные подразделения рассматриваются в категории литостратиграфических.

- *Аллостратиграфические подразделения* или подразделения, ограниченные несогласиями, представляют собой толщи пород, ограниченные сверху и снизу значительными перерывами в стратиграфической последовательности, то есть стратиграфическими несогласиями либо угловыми несогласиями.

- *Сеймостратиграфические подразделения* представляют собой геологические тела, которые разделены границами, выявляемыми с помощью сейсморазведки.

- *Биостратиграфические подразделения* основаны на содержащихся в горных породах ископаемых остатков организмов.

- *Климатостратиграфические подразделения* основаны на периодических изменениях климата, которые находят своё отражение в изменении состава пород или содержащихся в них остатков организмов.

- *Магнитостратиграфические подразделения* основаны на магнитных свойствах пород:

1) *магнитополярные (палеомагнитные)* или *подразделения магнитной полярности* устанавливаются с помощью палеомагнитных методов датирования. Они основаны на параметрах, отражающих изменения геомагнитного поля во времени, например, изменения полярности или напряженности поля, изменения координат магнитных полюсов.

2) *магнитные подразделения* выделяются на основе численных магнитных характеристик горных пород (значения магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, параметры магнитного насыщения). В отличие от магнитополярных подразделений, они не связаны с изменениями геомагнитного поля в древности.

- *Хроностратиграфические подразделения* основаны на времени формирования пород.

Вышеперечисленные категории могут объединяться в группы.

В Североамериканском стратиграфическом кодексе (2005) они объединяются в два класса:

- *материальные подразделения*, основанные на наблюдаемых материальных признаках, свойствах пород. К данному классу отнесены литостратиграфические, литодемические, магнитостратиграфические

(магнитополярные), биостратиграфические, педостратиграфические и аллостратиграфические.

- *временные и хроностратиграфические подразделения*, основанные на интерпретациях их возраста.

В третьем издании Стратиграфического кодекса России (2006) различные категории стратиграфических подразделения объединены в две группы:

- *основные стратиграфические подразделения*, выделяемые с помощью целого комплекса различных методов - биостратиграфических, магнитостратиграфических, климатостратиграфических и т. д. Однако, на практике во многих случаях могут быть использованы не все из этих методов. Например, биостратиграфический метод можно применять только, если в отложениях присутствуют остатки ископаемых организмов.

- *специальные стратиграфические подразделения*, для выделения и обоснования которых используется лишь один метод - морфолитостратиграфический, биостратиграфический, климатостратиграфический, магнитостратиграфический или сейсмостратиграфический.

Из этих методов особенно важен биостратиграфический, который позволяет по содержащимся в горных породах останкам организмов сопоставлять отложения из разных районов земного шара и устанавливать их относительный возраст.

2.4. Слои

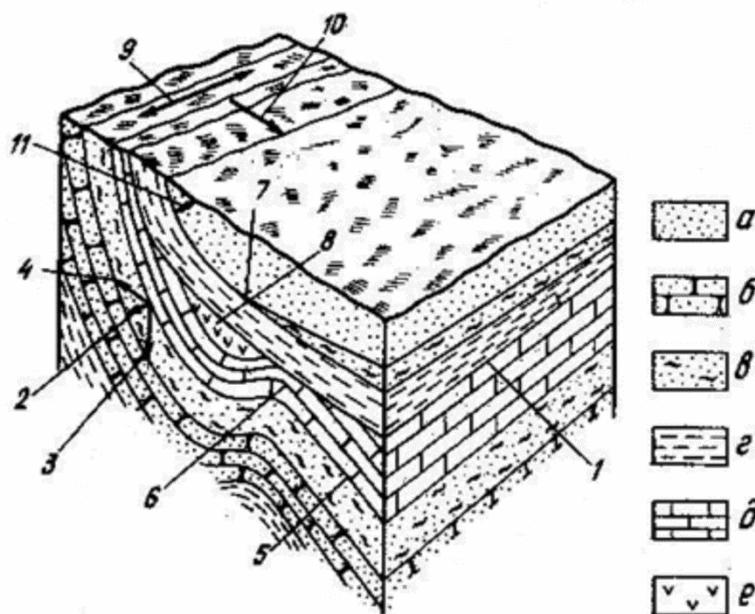
Так как первоочередным объектом стратиграфии являются горные породы, накапливающиеся осадочным способом, то их специфика заключается в обязательном наличии слоёв и слоистости. Данные понятия с точки зрения их классификации, механизма образования, преобразования рассматриваются литологией и седиментологией. Однако, помимо указанного, слой - очень важный элемент стратиграфии. Ведь это какой-то объём горной породы, характеризующийся общими чертами (или чертой) строения и обладающий формой, при которой одно измерение (обычно простирание) резко превышает остальные. Другими словами под слоем в стратиграфии понимается геологическое тело, сложенное однородной породой, ограниченное двумя более или менее параллельными поверхностями напластования, имеющее сравнительно небольшую мощность (толщину) и занимающее значительную площадь. Тем самым слой - это *элементарное стратиграфическое подразделение* и одновременно *элементарная единица наблюдения*. Он может выделяться по составу, окраске, текстуре, содержанию включений, характерным ископаемым органическим остаткам, плотности, возрасту и т.д.

Однако в природе признаки слоя чаще всего не постоянны и не выдержаны, и могут, в той или иной мере, меняться в трёх направлениях.

Поэтому при выделении слоя берётся один или несколько наиболее ярко выраженных признаков (например, петрографический состав и окраска) при наличии в слое меняющихся других признаков (например, зернистости, наличия включений и др.). Названия слоёв даются по основному литологическому и дополнительному (окраске, зернистости, текстуре и др.) признакам. Например, «слой синей глины», «слой красноцветного песчаника» и т.д.

Слои небольшой мощности (от долей до нескольких сантиметров), близкого гранулометрического или петрографического состава, но различающиеся по окраске или другим признакам, залегающие внутри или на границе однородного слоя и играющие подчиненную роль в строении слоистого комплекса, называются прослоями (прослойками). Близкое к прослоям понятие – это слоистость. Под слоистостью в стратиграфическом смысле следует понимать сочетание какого-то количества слоёв в толще.

Слой ограничен поверхностями *наслоения* (или *напластования*). При нормальном залегании нижняя (более древняя) поверхность называется *подошвой* слоя (рис. 1), а верхняя (более молодая) – *кровлей*. Кратчайшее (по перпендикуляру) расстояние между подошвой и кровлей слоя называется *истинной мощностью* слоя. Любое другое расстояние между кровлей и подошвой называется *видимой мощностью*. Кроме того, различают ещё *вертикальную мощность* – расстояние по вертикали от любой точки кровли до подошвы слоя и *горизонтальную мощность* – расстояние по горизонтали от любой точки кровли до подошвы слоя.



- a* – пески; *b* – песчаники; *v* – алевролиты; *г* – глины; *d* – известняки; *e* – гипсы.
 1 – подошва глин (кровля известняков); мощность: 2 – истинная, 3 – вертикальная,
 4 – горизонтальная; 5 – раздув (увеличение мощности); 6 – сокращение мощности;
 7 – выклинивание; 8 – линза; 9 – простираение; 10 – направление падения; 11 – угол падения

Рисунок 1 – Блок-диаграмма, иллюстрирующая элементы залегания слоя (Мильничук, Арабаджи, 1989)

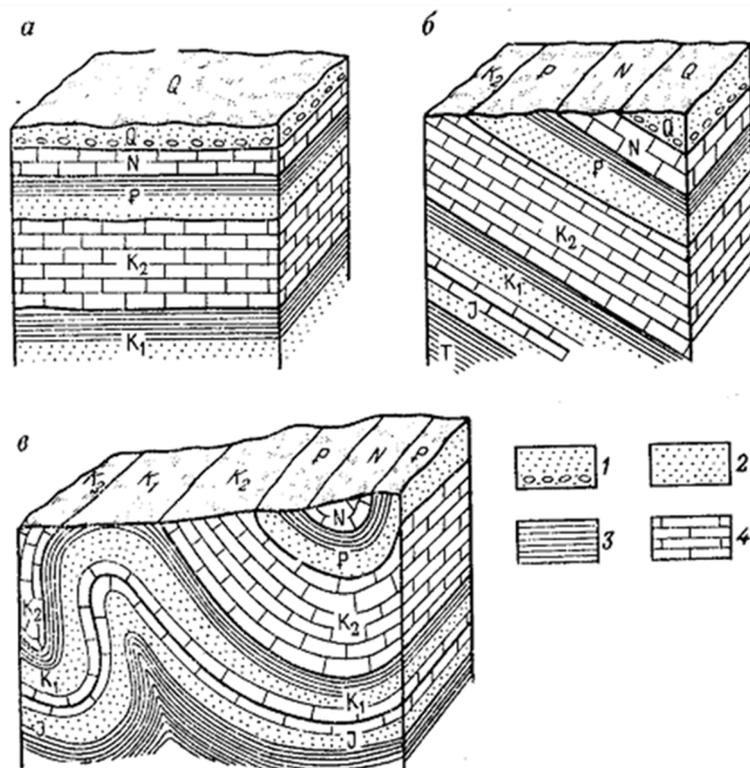
Любой слой имеет ограничения в трёх измерениях. Мощность слоя по простиранию может меняться. Постепенное уменьшение мощности слоя до его полного исчезновения называется *выклиниванием*, а резкое – *исчезновением*. Выклинивание может быть *первичным*, и обусловлено прекращением образования осадка (*стратиграфическое выклинивание*), либо изменением фациальных условий осадконакопления (*фациальное выклинивание*), либо – *вторичным*, являющимся результатом последующего размыва (*денудационное выклинивание*) или горизонтального растяжения и разрыва слоя при складчатости (*тектоническое выклинивание*). Слой, выклинивающийся во всех направлениях, называется *линзой*. Неполное выклинивание или уменьшение мощности слоя на небольшом промежутке называется *перезжимом*. Место резкого увеличения мощности называется *раздувом*. Резкое исчезновение слоя, в большинстве случаев, обусловлено проявлением разрывных нарушений и смещением слоя вдоль плоскости сместителя разлома (тектоническое исчезновение).

Пространственное расположение слоя характеризуется его простиранием и падением. *Простирание* – линия пересечения кровли слоя с горизонтальной плоскостью; положение этой линии относительно стран света определяется *азимут простирания*. *Падение* – наклон слоя к горизонтальной плоскости, характеризуется направлением падения и углом падения. *Угол падения* – угол между плоскостью (поверхностью) слоя и горизонтальной плоскостью. Направление, или *азимут падения* и угол наклона (падения) определяются горным компасом и измеряются в градусах. Азимут падения всегда перпендикулярен к простиранию слоя. Азимуты простирания, падения и угол падения называются *элементами залегания слоя* и определяют его положение в пространстве.

Устанавливая соотношение слоёв в разрезе, различают залегание и прилегание. Залегание подразделяют на два основных типа: согласное и несогласное.

Согласное залегание (рис. 2) характеризуется отсутствием *перерывов* в осадконакоплении. Границы слоёв обычно субпараллельны друг другу. Иногда могут быть случаи «несогласованности» границ, обусловленные при первично наклонном согласном залегании пород. При согласном залегании различают: *нормальное согласное залегание*, когда слои расположены субгоризонтально; *нарушенное согласное залегание*, когда слои лежат наклонно или смяты в складки, но стратиграфическая последовательность сохраняется; *запрокинутое согласное залегание*, когда слои перевернуты при сохранённой стратиграфической последовательности.

Несогласное залегание или *несогласие* выражает *перерыв* в осадконакоплении, который выражается отсутствием определенных стратиграфических горизонтов и обусловлен различными (чаще тектоническими) причинами. Такое несогласие называется *стратиграфическим*. Поверхность, разделяющая несогласно залегающие толщи, называется *поверхностью несогласия*.



a – нормальное согласное залегание; *б* – наклонное; *в* – складчатое.
 1 – конгломераты; 2 – пески, песчаники; 3 – глины, глинистые сланцы; 4 – известняки

**Рисунок 2 – Согласное залегание осадочных пород
 (Мильничук, Арабаджи, 1989)**

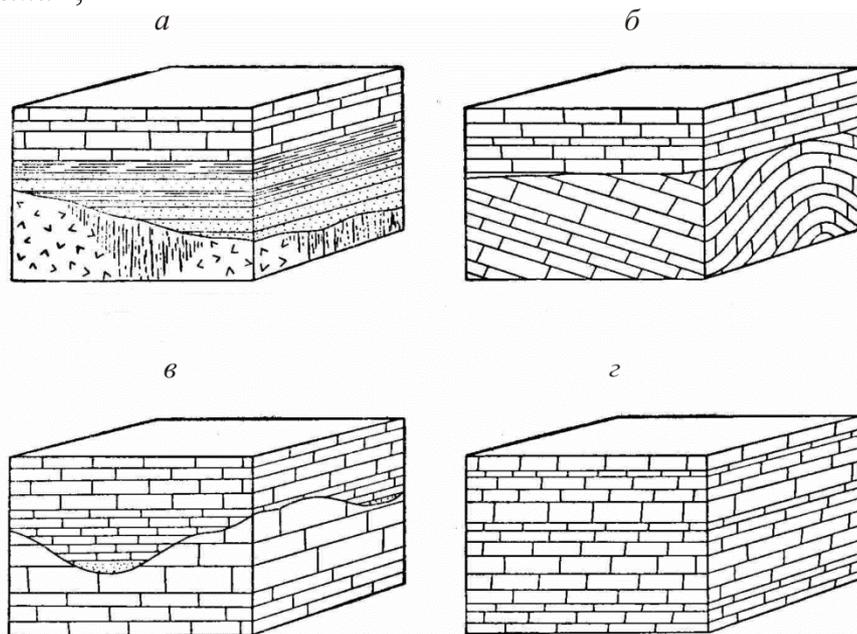
Выделяют четыре возможных случая несогласия (рис. 3):

1) слоистые породы перекрывают неслоистые изверженные породы – несогласное перекрытие;

2) две толщи слоистых пород по-разному дислоцированы, имеют различные простирания и углы наклона – *угловое несогласие*. Частными случаями *углового несогласия* являются: *структурное несогласие*, при котором поверхность разделяет серии, обладающие различным стилем строения; *азимутальное* - когда поверхность разделяет серии не только непараллельных слоёв, но и имеющих разные азимуты падения (простирания); *географическое* - если поверхность разделяет серии слоёв, различие углов падения которых столь мало, что устанавливается лишь при картировании;

3) две толщи имеют одинаковые элементы залегания, но между ними имеется четкая эрозионная граница, выраженная в виде неровного или волнистого контакта, ожелезнения кровли подстилающей толщи, скопления грубообломочного материала или фосфоритовых стяжений в основании перекрывающей толщи и т.п. – *параллельное несогласие*. Однако широко известны случаи, когда наличие перерыва устанавливается наблюдениями, но протяжённость его значительно меньше самой дробной единицы измерения.

Для подобного взаимоотношения в 1917 г. Дж. Баррелом был предложен термин «*диастема*»;



а – несогласное перекрытие; *б* – угловое несогласие;
в – параллельное несогласие; *г* – скрытое несогласие

Рисунок 3 – Типы несогласий (Данбар, Роджерс, 1962)

4) контакт между двумя толщами выражен простой поверхностью напластования, и наличие перерыва устанавливается преимущественно методами биостратиграфии – *скрытое несогласие*.

Отдельно различают также трансгрессивное, регрессивное, ингрессивное и миграционное залегание. *Трансгрессивное залегание* отражает постепенное изменение вверх по разрезу слоёв, сформированных при всё более мористых условиях (уменьшение размерности в обломочных породах, смена терригенных глинистыми, позже карбонатными слоями). Однако трансгрессивным называется и такое соотношение слоёв, когда площадь распространения верхнего слоя шире, чем нижнего (рис. 4, *Б*) Обычно в основании трансгрессивных серий наблюдаются ясные следы размыва. *Регрессивное залегание* характеризует обратные соотношения в разрезе и на площади слоёв (рис. 4, *А*); *ингрессивное* отличает распространение более молодых слоёв среди более древних, обычно подстилающих молодые слои, например при затоплении морем расчленённой суши, заполнении межгорных депрессий и т.п. В отличие от трансгрессивных, основания ингрессивных серий не несут следов размыва. Миграционное (смещённое) залегание осадочных толщ характеризуется последовательным смещением области накопления осадков в одном направлении. Слои отступают с одной стороны прогиба и трансгрессивно ложатся на основание с другой стороны прогиба.

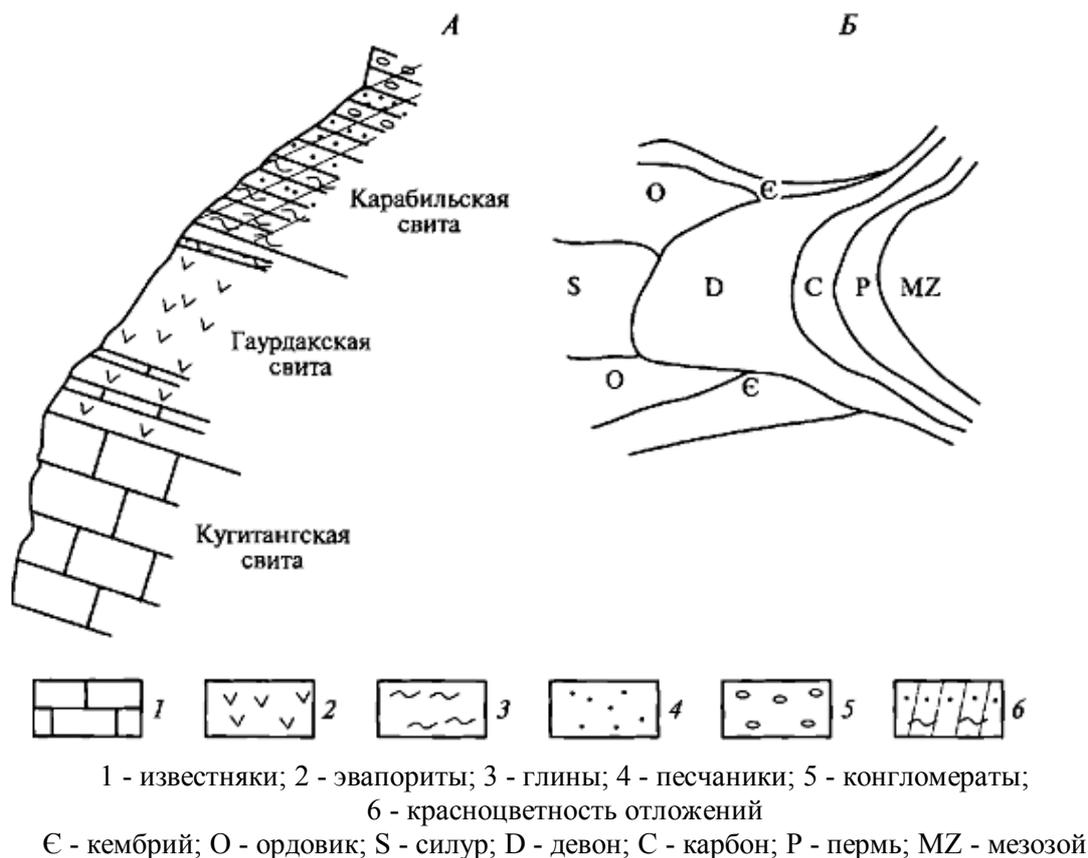


Рисунок 4 - Регрессивное соотношение слоев в разрезе (А) и трансгрессивное на площади (Б) (Прозоровский, 2010)

Латеральные соотношения разновозрастных слоёв называют *прислонением*, или *прилеганием*. Если слои являются элементарными стратонами, то сочетания слоёв, обладающих каким-то общим признаком, и есть те стратиграфические подразделения, которые преимущественно используются в геологической практике. Все стратоны характеризуются *объёмом* (*стратиграфическим объёмом*) подразделения. Под *стратиграфическим объёмом* понимается максимальный интервал геологического разреза, заключенный между стратиграфическими границами этого подразделения. Этот интервал может быть постоянным или меняться в различных участках распространения стратона.

Составом стратиграфического подразделения называют перечень входящих в него более низких по рангу единиц.

2.5. Стратотип

Стратиграфические подразделения – это единицы качественные, поэтому установление их в пространстве невозможно без сравнения с эталонами качества, по которому они выделены. Такими эталонами служат стратотипы стратиграфических подразделений. Согласно определению Д.В. Степанова и М.С. Месежникова (1979) *стратотип стратиграфического подразделения* (*стратотипический разрез*) представляет собой конкретный

разрез отложений одного или близко расположенных подразделений какой-либо стратиграфической единицы (яруса, горизонта, свиты и др.), который исследователем, впервые выделившим эту единицу, указывается и описывается в качестве типового разреза. Является эталоном для последующего сравнения с соответствующими по геологическому возрасту отложениями других регионов (рис. 5).

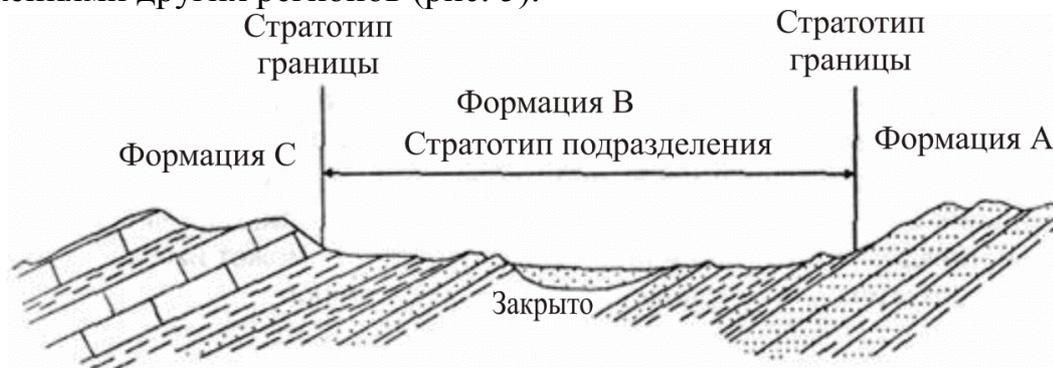


Рисунок 5. - Стратотип литостратиграфического подразделения (Международный..., 1978)

Стратотип – это конкретный геологический разрез (единый или составной) стратона, указанный и описанный в качестве эталонного. Стратотип как эталонный разрез (типовой разрез) выделяется для следующих стратиграфических подразделений: яруса, хронозоны, горизонта, слоев, лоны, свиты и для биостратиграфического подразделения – биозоны, которая может подразделяться на подзоны.

Как было сказано выше, стратотип – это качественная единица. Он служит эталоном для последующего сравнения с ним того же стратиграфического подразделения, выделенного в другом районе. Установление такого эталона должно обеспечить стабильность единообразного понимания объёмов и общей характеристики стратиграфических подразделений.

В качестве стратотипа выбирается определённый 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) - это район, в котором находятся стратотип и разрезы, дополняющие его характеристику. Выделяют следующие разновидности стратотипов: *голостратотип* (первичный стратотип) - разрез, указанный автором стратиграфического подразделения одновременно с установлением самого подразделения. *Лектостратотип* (избранный стратотип) выбирается в случаях, когда голостратотип не был указан автором подразделения. *Неостратотип* (новый стратотип) выбирается в тех случаях, когда голостратотип или лектостратотип по каким-то причинам утрачены или стали недоступными для изучения (затоплены,

уничтожены строительством, попали в запретную зону и пр.). *Составной стратотип* - это совокупность разрезов, расположенных в стратотипической местности, дополняющих друг друга и в сумме составляющих полный эталон данного стратона. *Ареальный (площадной) стратотип* - частный случай составного стратотипа. *Гипостратотип* (вторичный, дополнительный) - дополнительно выбираемый в стратотипической местности разрез, соответствующий по объему и составу полный, более доступный и хорошо охарактеризованный в литологическом и палеонтологическом отношении. В процессе дальнейших работ значение гипостратотипа может приобрести другой, более полный и лучше охарактеризованный разрез. *Парастратотип* - разрез, используемый автором при первоначальном выборе голостратотипа с целью дополнения его характеристики.

Стратотипами могут служить естественные и искусственные обнажения, а также разрезы вскрытые скважинами. Для последних должны выполняться два основных условия: керн этих скважин должен храниться вечно и быть доступным для изучения.

2.6. Лимитотип

В ряде случаев, главным образом при установлении границ крупных хроностратиграфических подразделений, таких как системы, отделы и ярусы, оказывается, что их границы плохо охарактеризованы в стратотипических разрезах. В этом случае в конкретном разрезе, который может находиться за пределами стратотипического района, но принадлежит к той же палеобиографической провинции, выбирается стратотип стратиграфической границы этого подразделения, или лимитотип (рис. 6).

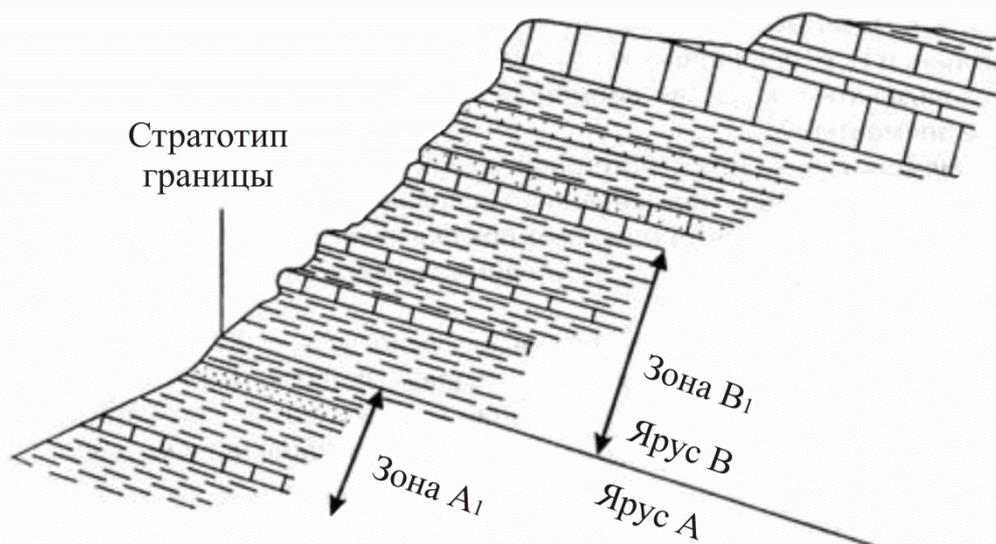


Рисунок 6 – Стратотип границы (Международный..., 1978)

Стратотип стратиграфической границы (лимитотип) - выбранный в качестве эталонного разрез, в котором фиксируется положение нижней границы стратона.

Лимитотип – это конкретный разрез слоев горных пород, в котором выбрана конкретная точка, являющаяся стандартом для определения и распознавания стратиграфической границы. Существенное значение лимитотипы имеют для подразделений Международной стратиграфической шкалы (МСШ).

Подразделения Международной стратиграфической шкалы в фанерозойской части и эдиакарии (венде) определяются с помощью стратотипов стратиграфических границ – *точек глобального стратотипа границ (ТГСГ)*, на английском языке *GSSP (Global Stratotype Section and Point)* или (для протерозоя и архея) по *глобальному стандарту стратиграфического времени (ГССВ)*, в английском варианте *GSSA (Global Standard Stratigraphic Age)*. В этом случае, лимитотип представляет собой выбранный в качестве эталонного разрез, в котором фиксируется положение нижней границы стратона.

Разрез и точка глобального стратотипа границы представляют собой выбранный международным научным сообществом геологический разрез, который служит опорным для определенной границы Международной стратиграфической шкалы. Один из основных критериев установления на том или ином уровне – их потенциальная прослеживаемость в как можно более большом числе регионов. Поэтому предпочтение, как правило, отдается уровням, на которых происходит смена разных групп окаменелостей, особенно если на близком уровне имеются опознаваемые маркеры иной природы (хорошо опознаваемые инверсии магнитного поля, геохимические аномалии различной природы и т.д.)

Решение сначала, как правило, принимается на уровне рабочей группы по тому или иному подразделению или границе, затем утверждается Международной комиссией по стратиграфии и Международным союзом геологических наук.

В большинстве случаев ключевые события, по которым определяются GSSP – биостратиграфические, то есть они характеризуются сменой комплексов ископаемых организмов, но иногда на первый план выходят климатические, геохимические или палеомагнитные маркеры. По возможности GSSP выбираются как можно ближе к традиционным границам ярусов.

При наличии нескольких разрезов, претендующих на статус GSSP, стараются выбрать наиболее соответствующий требованиям к разрезам такого рода (Remane et al., 1996):

- адекватная мощность разреза и темпы седиментации;
- формирование отложений в условиях непрерывной седиментации;
- отсутствие синседиментационных и тектонических нарушений;
- отсутствие метаморфизма и существенных диагенетических изменений отложений;
- обилие и разнообразие ископаемых организмов по всему интервалу разреза;

- отсутствие фациальных изменений вблизи границы;
- морской генезис отложений;
- пригодность разреза для проведения магнито- и хемотратиграфических исследований и радиоизотопного датирования;
- доступность: стратотипы должны быть доступны для всех тех, кто заинтересован в их изучении, независимо от политических или других обстоятельств; должна иметься гарантия их длительной сохранности.

2.7. Основные термины стратиграфии

Стратиграфическая терминология - это совокупность терминов, используемых в стратиграфии (Стратиграфический кодекс России, 2006). Она очень специфична, и владение ею необходимо прежде всего для взаимопонимания с коллегами.

Стратиграфическая номенклатура - совокупность названий стратиграфических подразделений (Стратиграфический кодекс России, 2006).

Стратиграфическая корреляция - сопоставление пространственно разобщённых (в отличие от непосредственно прослеживаемых) стратиграфических подразделений и их частей по геологическому возрасту и (или) по положению в разрезе (Стратиграфический кодекс России, 2006).

Стратиграфическая корреляция является одной из важнейших стадий стратиграфических исследований. Рекомендуется использовать комплекс признаков коррелируемых стратиграфических подразделений; остатки организмов, литологический состав, изотопные датировки, следы вулканической и тектонической активности, палеомагнитные данные и др. Для стратиграфической корреляции отдалённых разрезов применяется преимущественно биостратиграфический метод, для разрезов одного палеобассейна седиментации - литолого-фациальный метод с выделением маркирующих горизонтов и совместно с биостратиграфическим методом. Стратиграфической корреляции отложений, вскрытых скважинами, проводится с помощью различных видов геофизического каротажа, при систематическом контроле получаемых данных результатами изучения керна опорных и параметрических скважин. Для корреляции донных осадков акваторий широко применяются сейсмоакустический и другие геофизические методы. В результате стратиграфической корреляции составляются корреляционные стратиграфические схемы, представляющие совокупность местных и региональных стратиграфических подразделений полного или частичного геологического разреза региона или его части.

Биостратиграфическая корреляция - один из методов стратиграфической корреляции, основанный на установлении и прослеживании на определенной территории одновозрастных либо сходных по палеонтологической характеристике биостратиграфических подразделений (Стратиграфический кодекс России, 2006). Точность

биостратиграфической корреляции, то есть степень синхронности подразделений, устанавливаемых в изучаемых разрезах, всегда относительна. Наиболее точна биостратиграфическая корреляция, базирующаяся на использовании подразделений биостратиграфических зональных шкал и стандартов, охарактеризованных ортостратиграфическими (архистратиграфическими) группами фауны или флоры.

Стратиграфическая колонка - графическое изображение специальными условными знаками в заданном масштабе последовательности залегания стратиграфических подразделений и характер контактов между ними. Является сводной, так как составляется на основе материалов разрезов нескольких обнажений или буровых скважин. На стратиграфической колонке помещаются названия общей и региональной стратиграфической шкалы, а также индексы местных стратиграфических подразделений, их геологический возраст, мощность, литологическая и палеонтологическая характеристика.

Нестратифицированные подразделения, к ним относятся магматические, высокометаморфические, метасоматические и импактные образования, расчленяемые на комплексы, подкомплексы, фазы и фации с показом на геологической карте их состава и возраста. Возраст обозначается индексами и оттенками цвета, вещественный и минеральный состав – цветом, крапом, штриховкой и символами из букв греческого и латинского алфавитов (Петрографический кодекс..., СПб. 1995).

Таксономическая шкала в стратиграфической классификации - совокупность таксономических единиц (таксонов), расположенных в порядке иерархической соподчиненности, то есть по рангу (Стратиграфический кодекс России, 2006). *Таксоном* в данном случае называется стратиграфическое подразделение, находящееся в определенной рангово-соподчиненной системе. Например: эратема - система - отдел - ярус или комплекс - серия - свита - подсвита. Каждый член системы содержит целое число таксонов более низкого ранга, не менее двух. Так, эратема, например, содержит шесть, три системы; система объединяет два, три, четыре отдела; комплекс может состоять из двух и более целых свит. При этом границы таксона любого ранга всегда должны соответствовать границам таксона самого низкого ранга этой системы (подшва эратемы проводится по основанию нижней хронозоны самого нижнего яруса).

2.8. Стратиграфические шкалы

Стратиграфическая шкала - шкала, показывающая последовательность и соподчиненность стратиграфических подразделений осадочных, вулканогенных и метаморфических образований, слагающих земную кору и отражающих пройденные Землей или участками земной коры этапы исторического развития.

Выделяют Международную стратиграфическую шкалу (МСШ), Региональную стратиграфическую шкалу (РСС), Общую стратиграфическую шкалу (ОСШ), а также региональные и местные стратиграфические схемы. Отдельно выделяют стандартную биостратиграфическую зональную шкалу, геохронологическую шкалу и геохронометрическую.

Международная стратиграфическая шкала представляет собой идеально полный разрез земной коры без пропусков и перекрытий, выраженный в рангово-соподчиненных единицах. Основным подразделением ее в настоящее время признан ярус; целая сумма ярусов образует производные подразделения: отдел (серию), систему, эратему, эонотему.

Региональная стратиграфическая шкала отражает идеально полный разрез в пределах значительного пространства земной коры сравнительно однородно построенного. Она включает горизонты и их части, а также слои. При этом под стратиграфическим регионом понимается часть пространства земной коры, в пределах которой прослеживаются единицы одной Региональной стратиграфической шкалы. Последние являются хроностратиграфическими подразделениями и устанавливаются только на основании корреляции со стратотипами, поэтому площадь использования одной Региональной стратиграфической шкалы может меняться по мере накопления стратиграфических данных.

Согласно Стратиграфическому кодексу России (2006) *Общая стратиграфическая шкала* – это совокупность общих стратиграфических подразделений (в их полных объёмах, без пропусков и перекрытий), расположенных в порядке их стратиграфической последовательности и таксономической подчиненности. Она служит для определения стратиграфического положения подразделений всех других категорий и видов. Общая стратиграфическая шкала обязательна для использования в Российской Федерации и некоторых странах СНГ, например, в Беларуси. Она составлена стратиграфическими подразделениями, традиционными для российской геологии. От Международной стратиграфической шкалы она отличается наличием большего количества рангов (акротема, эонотема, эратема, система, отдел, ярус, хронозона или раздел, звено, ступень), а также составом стратиграфических подразделений некоторых её частей – докембрия, кембрия, ордовика, карбона, перми, квартера.

Стратиграфическая схема – это графическое выражение временных и пространственных соотношений местных, региональных и вспомогательных стратиграфических подразделений, составляющих полный или частичный разрез (например, одной системы или эратемы) определенного участка земной коры и скоррелированных с Общей стратиграфической шкалой (Стратиграфический кодекс России, 2006. Приложение 4). Стратиграфическая схема состоит из четырех разделов (слева направо): 1) Общей стратиграфической шкалы (в рамках избранного стратона); 2) унифицированной стратиграфической схемы – региональных стратиграфических подразделений с указанием характерных для них

комплексов органических остатков; 3) корреляционной стратиграфической схемы местных и вспомогательных стратиграфических подразделений по отдельным районам или структурно-фациальным зонам исследуемой территории; 4) стратиграфической схемы разновозрастных отложений смежных регионов.

По степени унификации и обоснованности стратонов Региональные стратиграфические схемы могут квалифицироваться как *унифицированные* (включают все четыре упомянутых выше раздела), *корреляционные* (не содержат второго раздела - региональные стратиграфические подразделения) и *рабочие* (основаны на предварительных или недостаточно аргументированных данных). Региональные стратиграфические шкалы являются основой легенд листов Государственной геологической карты всех масштабов, а *горизонт* зачастую является основным региональным стратиграфическим подразделением этих шкал. Географическое распространение горизонта ограничивается геологическим регионом, заключающим в себе единый бассейн осадконакопления. Он объединяет по простиранию разнофациальные толщи, отвечающие определённому этапу геологического развития региона. Как правило, в фанерозойских толщах горизонты устанавливаются на биостратиграфической основе, и иногда представляют собой некоторую сумму провинциальных зон. Таким образом, горизонт - это совокупность разновозрастных свит, их частей (по разрезу) или вспомогательных стратонов, распространение которых ограничено рамками геологического региона, бассейна осадконакопления, палеобиогеографической области. Соотношение горизонтов со свитами - типичный пример соотношения общего и частного (рис. 7).

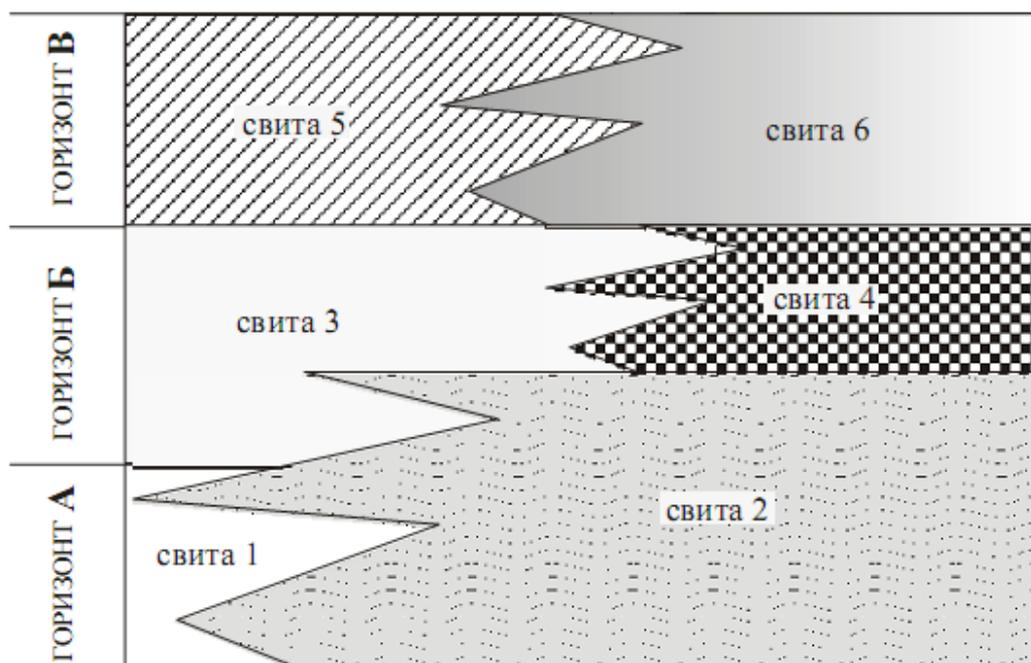


Рисунок 7 - Схема соотношения горизонтов и свит

Латеральные границы горизонтов должны совпадать с контурами древних бассейнов осадконакопления. Частным вариантом латеральных границ горизонта является переходная зона от морских образований к континентальным. Определение изохронности стратиграфических границ горизонтов – сложная задача. Можно предполагать, что горизонты, выделенные на биостратиграфической основе, имеют более изохронные стратиграфические границы, чем горизонты, отражающие только этапы седиментации в палеобассейне. Однако изменения в составе фаун, например, в морском бассейне, столь зависимы от изменений условий осадконакопления, что отрывать эти признаки друг от друга нельзя. И скорее, последний фактор является определяющим. Кроме того, в более или менее замкнутом бассейне существенные изменения в ходе седиментогенеза, вероятно, происходили в масштабе геологического времени одновременно. Стоит также отметить, что при необходимости горизонт может подразделяться на подгоризонты и надгоризонты. Горизонт должен иметь стратотип.

Выделение *слоёв* в Региональной стратиграфической схеме производится по особенностям литологического состава и/или на биостратиграфической основе, и они имеют географическое название. Стратотип слоёв может выбираться в стратотипическом разрезе горизонта (подгоризонта) или быть самостоятельным.

Кроме приведенных выше типов стратиграфических шкал в Стратиграфическом кодексе России (2006) приведены определения ещё нескольких. Это стандартная биостратиграфическая зональная шкала, геохронологическая шкала и шкала геологического времени.

Стандартная биостратиграфическая зональная шкала - это статистически достоверная (на данное время) последовательность биостратиграфических зон широкой прослеживаемости, то есть шкала, по своему корреляционному потенциалу превышающая потенциалы зональных последовательностей типовых районов ярусов и более надежная для провинциальных (областных, поясных) и потенциально глобальных корреляций. Стандартные шкалы могут быть разработаны параллельно по разным группам организмов и состоять из выбранных стратиграфических интервалов провинциальных биостратиграфических шкал в объёмах системы, отдела или нескольких ярусов. При выделении нескольких параллельных шкал одна из них может быть принята в качестве приоритетной.

Геохронологическая шкала - последовательный ряд геохронологических эквивалентов общих или стандартных стратиграфических подразделений, в их таксономической последовательности.

Шкала геологического времени (геохронометрическая шкала) - последовательный ряд датировок нижних границ общих или стандартных

стратиграфических подразделений, выраженных в годах и вычисленных с помощью изотопных и других методов.

2.9. Общее представление о Стратиграфических кодексах

Основная часть геологической деятельности, как и в большинстве естественных наук, совершается коллективно. Для получения согласованного результата необходимо взаимопонимание всех участников. Этому служат договоренности или правила, разрабатываемые для целенаправленной деятельности. Они должны быть обязательными и непререкаемыми для всех членов коллектива, выполняющих данную работу. Стратиграфия в этом смысле не является исключением, и создание местных, региональных и общих стратиграфических схем, построение стратиграфических шкал и различного рода обобщений требует соблюдения общих правил, без которых невозможно получить полезный результат.

В стратиграфии такими уложениями стали Стратиграфические кодексы и Руководства или Инструкции, регламентирующие стратиграфические работы отраслей геологии государств или международных сообществ.

Государственные Стратиграфические кодексы регламентируют особенности проведения геологической деятельности в пределах соответствующей страны. Так, например, Стратиграфический кодекс (2006) определяет: «Правила Стратиграфического кодекса, сформулированные в виде статей, применяются ко всем стратиграфическим подразделениям, выделенным и выделяемым на территории России... Выполнение требований Стратиграфического кодекса обязательно при проведении геологических работ всеми ведомствами на территории России» (Стратиграфический кодекс России, 2006. Ст. 12. - с. 17).

Впервые название «кодекс» применили австралийские геологи в 1950 г., опубликовав «Австралийский кодекс стратиграфической номенклатуры». С тех пор Стратиграфические кодексы во всём мире выдержали более 50 изданий и действуют в настоящее время едва ли не в 30 странах. «Стратиграфический кодекс - это свод основных правил, определяющих содержание и применение терминов и наименований, используемых в практике стратиграфических исследований и процедуры установления стратиграфических подразделений».

Назначением Стратиграфического кодекса является обеспечение:

- 1) единообразия требований к установлению стратиграфических подразделений;
- 2) возможного единообразия и стабильности в применении стратиграфических терминов и наименований».

Первым в СССР Стратиграфическим кодексом может считаться брошюра «Стратиграфические и геохронологические подразделения» (1954), вышедшая под редакцией Л.С. Либровича. Она в определённом смысле предопределила создание Советской (ныне Российской) стратиграфической

службы в лице Межведомственного стратиграфического комитета. В этом издании были сформулированы основные принципы, понятия и процедуры, рекомендуемые для использования в СССР и разработанные на основе решений II и VIII сессий МГК. В 1965 г. под редакцией А.И. Жамойды вышла расширенная брошюра с дополнениями и некоторыми изменениями «Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура» (1965). Ниже мы кратко остановимся на её разборе в связи с тем, что многие положения в ней были широко восприняты советской геологической общественностью и до сих пор разделяются и используются многими стратиграфами.

После широкого обсуждения различных современных проблем и правил стратиграфии, проведенного главным образом в 2002-2004 гг. в России, было решено подготовить третье издание Стратиграфического кодекса, которое вышло в 2006 г. Положения этого кодекса используются в настоящее время и на территории Беларуси, за неимением своего Стратиграфического кодекса.

Кодекс устанавливает общие правила установления и номенклатуры валидных (действительных) стратиграфических подразделений.

Вновь выделяемые основные стратиграфические и биостратиграфические подразделения (в том числе установленные по материалам подземных выработок и бурения) являются валидными только при соблюдении требований настоящего Кодекса. Вновь выделяемые стратиграфические подразделения утверждаются:

а) общие - Международной комиссией по стратиграфии (МКС) Международного союза геологических наук (МСГН) и её подкомиссиями. Подразделения Общей стратиграфической шкалы считаются официально принятыми в России (на территории Беларуси также), если они утверждены пленумом или расширенным заседанием Бюро Межведомственного стратиграфического комитета по представлению соответствующих комиссий Межведомственного стратиграфического комитета по системам и Комиссией по стратиграфической классификации, терминологии и номенклатуре (КСКТН).

б) региональные - пленумом или расширенным заседанием Бюро Межведомственного стратиграфического комитета по представлению Региональной межведомственной стратиграфической комиссии (РМСК), поддержанному соответствующими комиссиями МСК по системам и КСКТН;

в) местные стратоны, используемые в региональных стратиграфических схемах, - РМСК.

Утвержденные Межведомственным стратиграфическим комитетом стратоны обязательны для использования в легендах Государственных геологических карт, на всех публикуемых других картах геологического содержания, корреляционных стратиграфических схемах, рассматриваемых

Межведомственным стратиграфическим комитетом и его комиссиями, в справочных изданиях.

Ранее установленное стратиграфическое подразделение является валидным, если опубликование его описания и названия сопровождалось:

- до 1966 г. - указанием ранга подразделения, его геологического возраста или положения в стратиграфическом разрезе региона, географического распространения, общей характеристикой;

- с 1966 г. - выполнением требований, изложенных в брошюре Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура (1965);

- с 1977 г. - выполнением требований Стратиграфического кодекса СССР 1977 г., повторенных в Стратиграфическом кодексе 1992 г.

- с 2006 г. - выполнением требований настоящего Кодекса.

Стратиграфическая номенклатура не зависит от других номенклатур в том смысле, что название стратиграфического подразделения не может быть отвергнуто только из-за того, что оно тождественно названию нестратиграфического подразделения (названию горной породы, минерала, животного, растения и т.д.). Каждое стратиграфическое подразделение, независимо от категории и ранга, может иметь только одно валидное название.

Полное стратиграфическое название должно состоять из двух частей: стратиграфического термина (номенклатурный термин - определяемое слово), обозначающего таксономический ранг и категорию стратиграфического подразделения, и собственно названия (определяющее этот термин слово).

Название нового стратиграфического подразделения должно отличаться от уже существующих названий других стратиграфических подразделений той же категории, независимо от ранга, геологического возраста и географического распространения.

Из всех государств США первыми в 1933 г. приняли свой Стратиграфический кодекс. С тех пор для территории Северной Америки выходило еще три издания Кодекса - в 1961, 1970 и 1983 гг. Североамериканский Стратиграфический кодекс применим ко всем породам Земли, вземных тел и к некоторым предметам потребления. Все подразделения впервые разделяются на два класса: на единицы с наблюдаемыми материальными признаками и на подразделения, основанные на наших предположениях или интерпретациях. Под стратиграфическим подразделением в нём понимается естественно залегающее тело горной породы или породного материала, отличающее их от соседней породы каким-нибудь установленным свойством или свойствами.

Основные различия Североамериканского и Российского Стратиграфических кодексов следующие: 1) менее обязательное следование статьям Североамериканского Стратиграфического кодекса учреждениями геологической службы Северной Америки; 2) полная независимость подразделений различных категорий стратонав друг от друга в

Североамериканском Стратиграфическом кодексе в отличие от соотношения частного к общему основных стратонев в Российском Стратиграфическом кодексе; 3) большее количество классов и категорий стратиграфических подразделений в Североамериканском Стратиграфическом кодексе; 4) признание основной единицей системы в категории хроностратиграфических подразделений в Североамериканском Стратиграфическом кодексе; в Российском Стратиграфическом кодексе в категории общих (хроностратиграфических) подразделений основная единица - ярус (конкретнее и точнее); 5) в той же категории Североамериканского Стратиграфического кодекса ярус и хронозона не являются соподчиненными ранговыми единицами, что делает непонятным их включение в категорию и затрудняет понимание содержания и объемов единиц более высокого ранга.

Международный стратиграфический справочник (МСС) является первой попыткой обобщения в международном масштабе почти векового опыта стратиграфической классификации и выработки на его основе рекомендаций, которые способствовали бы взаимопониманию специалистов, говорящих на разных языках, и унификации стратиграфических подразделений, используемых в разных странах. В период быстрого развития совместных международных геологических работ и освоения полезных ископаемых не только на континентах, но и в океанах эта задача становится первоочередной. Геология, которая долгие годы, по существу, была региональной наукой и которую еще в 40-х годах прошлого столетия рассматривали как науку о строении и истории развития только континентов, с началом систематического изучения дна океанов приобрела глобальный характер. Это привело к пересмотру ряда её основных положений, и полноценное решение любой крупной геологической проблемы естественно требует взаимопонимания между геологами разных стран, координации проводимых ими исследований и унификации используемых при этом определений и терминов. Он предназначен в особенности тем, чья работа и интересы касаются всего мира или, по крайней мере, выходят за рамки национальных границ.

Цель данного Справочника - способствовать международному соглашению о принципах стратиграфической классификации, разработать общеприемлемые в международном масштабе стратиграфическую терминологию и правила её применения для развития международных связей, сотрудничества, взаимопонимания и повышения эффективности стратиграфических работ во всем мире.

Международный стратиграфический справочник состоит из предисловия, 8 глав и приложений.

В главе 1 (введение) указаны цели создания справочника, состав авторов, подготовка, отношение к национальным и региональным стратиграфическим кодексам, альтернативным или спорным взглядам.

В главе 2 рассмотрены принципы стратиграфической классификации.

Глава 3 посвящена определениям и практике применения. Дается определение стратиграфии, слоя, стратиграфической классификации. Рассмотрены стратиграфические подразделения, стратиграфическая терминология, стратиграфическая номенклатура.

Дается трактовка понятий: стратотип, зона, интервал, горизонт, корреляция, геохронология, геохронологическое подразделение, геохронометрия, фация.

Рассмотрен порядок выделения и описание стратиграфических подразделений, специальные требования при выделении и описании подразделений, не выходящих на поверхность, порядок опубликования, приоритеты, синонимия, ревизия ранее установленных подразделений.

Рассмотрен порядок расчленения пород.

Указаны рекомендуемые редакционные процедуры: написание с заглавной буквы, написание через дефис, употребление термина «зона», наименование ископаемых организмов.

Глава 4 посвящена стратотипам. Даются определения: стратотипа (типового разреза), стратотипа подразделения, стратотипа границы, составного стратотипа, типовой местности, типового района, голостратотипа, парастратотипа, лектостратотипа, неостратотипа, гипостратотипа.

Рассмотрены требования к стратотипам: выразительность, описание, идентификация и маркировка, доступность, требования к стратотипам, не выходящим на поверхность, приемлемость.

Глава 5 посвящена литостратиграфическим подразделениям. Рассмотрена цель литостратиграфической классификации. Даются определения: литостратиграфии, литостратиграфической классификации, литостратиграфического подразделения, литостратиграфической зоны (литозоны), литостратиграфического горизонта (литогоризонта).

Рассмотрены типы литостратиграфических подразделений и их иерархия: формация, пачка, пласт, группа, подгруппа и надгруппа, комплекс, литостратиграфические подразделения свободного пользования, производственные подразделения. Рассмотрены особенности изверженных пород.

Рассмотрен порядок выделения литостратиграфических подразделений, прослеживание литостратиграфических подразделений, маркирующие слои, используемые как границы и другое.

Глава 6 посвящена биостратиграфическим подразделениям. Указывается цель биостратиграфической классификации, природа биостратиграфических подразделений, основа подразделений, распространение ископаемых по отношению к внешним границам подразделений, значение ископаемых. Рассмотрены прижизненные сообщества и посмертные комплексы, переотложенные ископаемые, внедренные и вмываемые ископаемые, перекрытия и перерывы между подразделениями, влияние стратиграфической конденсации.

Даются определения: биостратиграфии, биостратиграфической классификации, биостратиграфического подразделения, биостратиграфической зоны (биозоны), надзоны и подзоны, интерзоны и интразоны отсутствия ископаемых, биогоризонта.

Рассмотрены типы биостратиграфических подразделений: комплексная зона, зона распространения, зона расцвета, или акмезона, интервальная зона, комплексная зоны, или ценозона и т.д.

Рассмотрены: иерархия биостратиграфических подразделений, процедура выделения биостратиграфических подразделений, процедура прослеживания биостратиграфических подразделений, правила наименования биостратиграфических подразделений и ревизии биостратиграфических подразделений.

Глава 7 посвящена хроностратиграфическим подразделениям. Рассмотрена цель хроностратиграфической классификации. Даются определения: хроностратиграфии, хроностратиграфической классификации, хроностратиграфического подразделения, хронозоны, хроностратиграфического горизонта (хроногоризонта). Рассмотрены типы хроностратиграфических подразделений и иерархия хроностратиграфических и геохронологических подразделений. Дается характеристика хронозоны (хрона), яруса (века), подъяруса и надъяруса, отдела (эпохи), системы (периода), эратемы (эры), эонотемы (эона).

Глава 8 посвящена рассмотрению соотношения между лито-, био-, хроно- и другими типами стратиграфических подразделений.

Глава 3. Основные принципы стратиграфии

Приступая к изучению горных пород, слагающих земную кору, геологи считают, что в них может храниться информация о тех геологических событиях, которые привели к их образованию (и/или изменению). То есть любая горная порода является материальным документом, отражающим направленное развитие геосферы, а также эволюцию биосферы, гидросферы и атмосферы. Многогранность процесса образования горных пород является основой использования различных методов для решения стратиграфических задач. В свою очередь, это определяет комплексную характеристику стратиграфических подразделений, принятую в современной стратиграфии. Методы стратиграфии имеют в своей основе ряд принципов, которые по В.А. Прозоровскому (2003) можно разделить на:

- 1) общегеологические или даже относящиеся ко всему естествознанию;
- 2) седиментологические, используемые при изучении осадочных, пород и их генезиса;
- 3) собственно стратиграфические, применимые преимущественно к стратиграфии, и некоторые частные случаи из них.

3.1. Общегеологические принципы

3.1.1. Принцип актуализма (принцип Ч. Лайеля)

Принцип актуализма относится к разряду основных не только в стратиграфии, но в геологии вообще. Краткая формулировка принципа актуализма гласит: настоящее – есть ключ к познанию прошлого.

Понятие об актуальном как действительном и потенциальном (возможном в прошлом и будущем) существовало со времени античности. Элементы принципа актуализма усматриваются и в труде Г. Фюкселя, посвященном стратиграфии и геологической истории Тюрингии (1762 г.).

Идеи, лежащие в основе принципа актуализма, берут свое начало от Дж. Геттона, который еще в конце XVIII в. дал первый синтез геологических знаний в своей «Теории Земли» (1788, 1795 гг.). Однако вполне закономерно, что общепризнанным автором этого принципа является Ч. Лайель, которому принадлежит первоначальная его формулировка, данная в его основном труде «Принципы геологии» (1830 - 1833): «Силы, ныне действующие как на земной поверхности, так и под нею, могут быть тождественны по роду и степени с теми, которые в отдаленные эпохи производили геологические изменения» (цитата по И.В. Круть, 1973, с. 30).

Введение понятия актуализма в геологию сыграло крупную роль в её развитии, показав, что познание настоящего помогает уяснить прошлое и потенциальное будущее. В то же время и прошлое помогает в какой-то мере уяснить настоящее.

Оформившийся и завоевавший широкое признание в конце XIX в. принцип актуализма стал предметом дискуссии и подвергся в 50 - 60 - х

годах прошлого столетия суровой критике со стороны ряда геологов и философов, осуждавших его как метафизическую концепцию. Позднее произошла своего рода реабилитация принципа актуализма. Было показано, что суровая критика актуализма должна быть в действительности адресована концепции униформизма, которая ошибочно отождествлялась с принципом актуализма и действительно имеет черты метафизической ограниченности.

Концепция униформизма складывается из трех составляющих: 1) признания специфичности и единообразия геологических процессов на всем протяжении существования Земли; 2) представления о большой длительности и непрерывности геологического времени и 3) вывода о значительных итогах суммирования множества малых изменений в течение геологического времени.

Основная же сущность принципа актуализма Ч. Лайеля заключается в том, что ныне действующие силы могут быть использованы для объяснения явлений прошлого. Кроме того, соглашаясь, что повторение обычных процессов при длительном их действии создает крупномасштабные изменения лика Земли, Ч. Лайель не отрицал и частные геологические катастрофы.

Принцип актуализма пронизывает всю стратиграфию, но не является специфически стратиграфическим, а относится к числу основных в геологии вообще. Можно сказать, что принцип актуализма имеет ещё более широкое значение и лежит в основе всякого исторического исследования.

3.1.2. Принцип условности (договоренности) (принцип А.В. Попова - А.В. Гоманькова)

Любая мерономическая процедура является одновременно и таксономической (например, расчлняя какое-нибудь целое геологическое тело на отдельные части-слои, мы тем самым задаём классификацию минеральных зёрен, из которых это тело состоит, основанную на отношении «принадлежать одному и тому же слою»), так что мерономия представляет собой частный случай таксономии. С другой стороны, возможны такие ситуации, когда коррелируемые стратоны заведомо не могут рассматриваться как части одного геологического тела (существующего сейчас или существовавшего в прошлом). Например, никто не рассматривает в качестве частей одного геологического тела динант Западной Европы и миссисиппий Северной Америки, которые, тем не менее, объединяются в единый стратон Международной стратиграфической шкалы, именуемый нижним карбоном. Объединение в данном случае осуществляется на основании принципа Смита - Гексли, который апеллирует к идеальному сходству сопоставляемых стратонов и ничего не говорит об их материальной связности. Таким образом, процедура стратиграфической корреляции может рассматриваться как мерономическая лишь в некоторых случаях, а как таксономическая - всегда. А поскольку в стратиграфии существует цель построения её общей

теоритической базы, то мы должны рассматривать корреляционную процедуру в общем виде и, следовательно, приписывать стратонам статус абстрактных понятий, а не конкретных геологических тел. Отсюда следует, что стратоны и их последовательности, которые являются результатом человеческой деятельности, представляют из себя условные абстрактные единицы стратиграфического времени, хотя и основаны на конкретных (материальных) объектах (Попова (2003).

3.1.3. Принцип неполноты геологической летописи (принцип Ч. Лайеля – Ч. Дарвина)

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

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

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

Формулировка принципа неполноты стратиграфической летописи по Д.Л. Степанову и М.С. Месежникову (1979, с. 37) звучит следующим образом: «стратиграфическая летопись в виде толщ горных пород земной коры является неполной, так как более или менее значительная часть геологического времени в каждом конкретном разрезе не отражена в напластованиях и приходится на перерывы».

Однако существует и второй аспект этого принципа – это утверждение Ч. Дарвина о неадекватности палеонтологической летописи, о том, что ископаемые окаменелости представляют лишь незначительную часть организмов, населявших Землю в минувшие геологические эпохи. Основные причины этого – отсутствие скелета у одних организмов и неблагоприятные условия для захоронения других. Особенно неблагоприятными были условия захоронения наземных организмов. Установленный интервал стратиграфического распространения отдельных групп ископаемых организмов не совпадает с истинным диапазоном их существования.

Вероятность нахождения ископаемых, представленных во времени их существования малочисленными особями и развитыми к тому же на ограниченных пространствах, крайне ничтожно. Палеонтолог обычно имеет дело с так называемыми руководящими ископаемыми, то есть формами, которые были очень широко распространены в пространстве и отличались большой численностью в период расцвета того или иного вида. Следовательно, ранние фазы становления видов, характеризующиеся локально ограниченными в пространстве и малочисленными популяциями, точно так же, как и нахождение их «последних» представителей, имеют мало шансов на обнаружение в ископаемом состоянии.

Отсюда следует вывод о том, что амплитуда стратиграфического и диапазон географического распространения ископаемых форм почти всегда меньше истинного распространения этих организмов во времени и в пространстве (Newell, 1966).

3.1.4. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции (принцип Л. Долло - Ч. Дарвина)

Этот принцип был открыт первоначально в биологии на примере эволюции органического мира и высказан Ч. Дарвином в книге «Происхождение видов» в главе XI. Он писал, что вид, раз исчезнувший, никогда не может появиться снова. Четкая формулировка этого принципа была дана Л. Долло в 1893 г.: «Организм не может вернуться даже частично к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков» (цитата по К.В. Степанову и М.С. Месежникову 1979, с. 168).

Необратимость геологического развития Земли как планеты Солнечной системы основана на том, что её эндогенная активность имеет общую тенденцию к снижению в связи с исчерпанием запасов внутреннего тепла. Кроме этого Земля представляет собой открытую систему, подверженную влиянию процессов, протекающих в околоземном космическом пространстве.

В историческом аспекте развитие Земли, как и других планет, началось с «тектоники роста», т.е. с образования ядра. Оно продолжалось временем господства «тектоники мантийных струй», которая уже в архее начала сменяться в верхних оболочках Земли «тектоникой литосферных плит». Подобная смена, вероятно, наблюдается в настоящее время на Венере. Марс уже миновал стадию «тектоники литосферных плит» и вступил в стадию общего сжатия литосферы, а Меркурий и Луна почти полностью утратили глубинную активность и на них господствуют экзогенные процессы, вызванные внешними воздействиями (Хаин, 1997).

Очевидно, что перечисленные стадии развития планет должны отличаться по видам и интенсивности протекающих на них геологических процессов.

Говоря о принципе необратимости биологической эволюции, необходимо подчеркнуть, что развитие жизни - это процесс, заключающийся в образовании новых, высших форм, создающих в себе предпосылки для дальнейшего развития. Этим объясняется общая, закономерная тенденция поступательного, восходящего движения - тенденция развития от простого к сложному. Процесс этот необратим, то есть движение вспять, от высших форм к низшим, от сложных к простым, невозможно. В то же время поступательность развития нельзя понимать как плавный процесс, без зигзагов и отклонений. Поступательность реализуется в борьбе различных тенденций, при этом отдельные линии общего развития могут выражать моменты регресса. Положение о необратимости биологической эволюции принято в качестве единого принципа и было положено в основу биостратиграфии или палеонтологического метода в стратиграфии.

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

Этот принцип исходит из свойства дискретности геологического времени и является продолжением принципа необратимости геологической эволюции. Он сформулирован в работе Г.В. Холмовой, В.Ю. Ратников, В. Г. Шпуль (2008, с. 29): «геологическое развитие имеет особенности измерения, выражающиеся в этапах, циклах, ритмах».

Что же понимается под ритмичностью, цикличностью и этапностью?

В геологической литературе под ритмичностью обычно понимается закономерное повторение в разрезе однотипно построенных комплексов осадочных пород.

Цикличность - более общее и более широкое понятие, чем ритмичность. Геологический словарь (1973) приводит следующие примеры циклов: цикл вулканический, цикл геотектонический, цикл складчатости и т. д.

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

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

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

3.1.6. Принцип палеонтологической сукцессии (Жиро-Сулави - В. Смита)

Этот принцип практически впервые был применен В. Смитом, создавшим на нем биостратиграфию. Однако за сто с лишним лет до него аббат Жиро-Сулави в 1779 г. эмпирически сформулировал основные положения этого принципа: «Залегание друг над другом различных известковых толщ; их последовательное формирование под водами океана. Эпохи различных ископаемых соответствуют слоям, которые их содержат... Мы видим теперь, что хронологический порядок различных царств согласуется с последовательностью залегания и сравнительным возрастом каждого слоя» (цитата по К.В. Степанову и М.С. Месежникову 1979, с. 60).

Более четко данный принцип был сформулирован Дж. У. Энтони (Anthony, 1955): «Ископаемые фауны и флоры следуют друг за другом в определенном, могущем быть выясненном порядке». Таким образом, принцип Жиро-Сулави - Смита является еще подсознательным представлением о необратимости биологической эволюции и в настоящее время имеет преимущественно историческое значение.

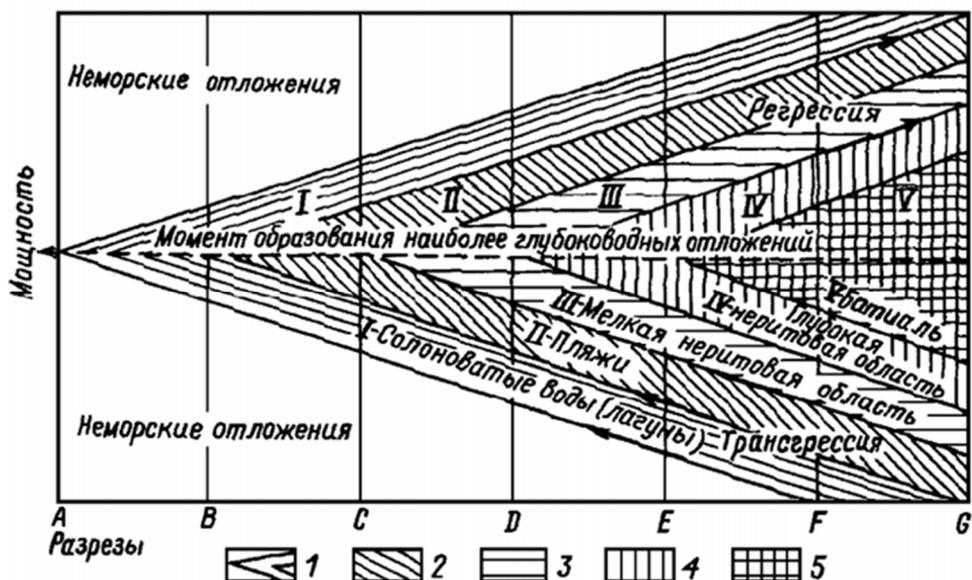
3.2. Седиментологические принципы

3.2.1. Принцип фациальной дифференциации разновозрастных отложений (принцип А. Грессли – Э. Реневье)

Данный принцип имеет литостратиграфическое значение и появился с установлением понятия «фация» (лат. *facies* – лицо, облик, вид), предложенного А. Грессли в 1836 г. На примере юрских отложений Швейцарии он показал, что конкретные параметры осадка отражают условия их образования, которые изменяются как по латерали, так и в геологической истории. В разновозрастных, но разных фациях может быть разная фауна. В 1884 г. Э. Реневье уточнил понятие фации, подчеркнув разновозрастность как необходимый и важный элемент этого понятия.

Данный принцип предостерегает стратиграфов от поспешных выводов при корреляции разрезов по внешне сходным литологическим и даже палеонтологическим признакам, поскольку они могут быть обусловлены одинаковыми фациальными обстановками. Недоучет фациальных изменчивости разновозрастных отложений часто является источником ошибочной датировки и корреляции.

Согласно Д.Л. Степанов и М.С. Месежникову (1979, с. 54) этот принцип звучит следующим образом: «Одновозрастные отложения претерпевают в горизонтальном направлении фациальные изменения, обуславливающие существенные различия их литологического состава и палеонтологической характеристики» (рис. 8).



I-V – комплексы бентосных фораминифер

Рисунок 8 - Фациальные изменения осадков по латерали (Степанов, Месежников, 1979)

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

В основе этого принципа лежат представления о неодновременности формирования литологически однородных слоев. Разновозрастность различных частей одного и того же слоя Н.А. Головкинский связывал с механизмом слоеобразования в условиях перемещения береговой линии бассейна осадконакопления. Как вывод из своих исследований Н.А. Головкинский указал на необходимость различения понятий о хронологическом, стратиграфическом, петрографическом и палеонтологическом горизонтах. При этом - хронологические горизонты косвенно пересекают все другие.

Разновозрастность отдельного слоя часто не может быть установлена практически и поэтому не всегда имеет существенное значение для стратиграфии, в этих случаях ей можно и пренебречь. Однако с разновозрастностью мощных осадочных комплексов, состоящих из большого числа слоёв, необходимо считаться.

В настоящее время используется следующая формулировка данного принципа: «граничные поверхности геологических тел (например, кровля слоя) не являются вполне изохронными на всём протяжении, причём скорость изменения возраста этих поверхностей возрастает в направлении, перпендикулярном береговой линии бассейна» (цитата по Степанову, Месежникову, 1979, с. 51).

Исходя из учения об образовании слоя, в каждом слое можно считать строго синхроничными только те его участки, которые отлагались параллельно береговой линии.

Принцип Н.А. Головкинского ограничивает значение литологических признаков в стратиграфии, которые следует применять в комплексе с палеонтологическими.

3.3. Собственно стратиграфические принципы

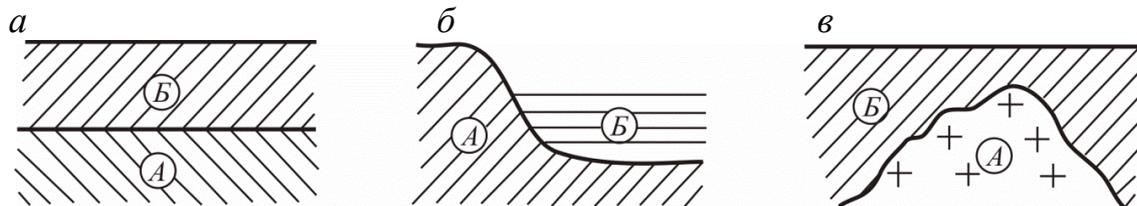
3.3.1. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Н. Стенона)

Этот принцип является первоосновой стратиграфии, ибо постулирует возможность установления первичного пространственно-временного соотношения слоёв. Он появился первоначально как закон слоеобразования в диссертации Н. Стенона в 1669 г. (Стенон, 1957): «При ненарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее покрывающего слоя... В то время, когда происходило образование данного слоя, всё вещество, находившееся над ним, было жидким, и, следовательно, в то время, когда образовывался нижний слой, ни один из верхних слоёв не существовал».

Первичная формулировка принципа Н. Стенона уточнялась и расширялась многими исследователями. Одну из них, возможно, самую общую, предложил С.В. Мейен (1974): «Временные отношения раньше/позже между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями (ниже/выше - дополнение К.В. Симакова) и (или) генетическими связями».

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

При этом возможны следующие взаимоотношения тел (рис. 9).



а – горизонтальное налегание; б – прислонение; в – облекание выступа

Рисунок 9 - Три частных случая выражения принципа Н. Стенона. Во всех случаях породы А древнее пород Б.

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

Принцип Н. Стенона служит основой для перевода пространственных отношений контактирующих тел в отношения временной упорядоченности. С этим принципом в стратиграфию входит понятие времени. Он же обеспечивает первую операцию стратиграфического исследования - расчленение любого геологического тела по разрезу и нередко выделение стратиграфического подразделения.

3.3.2. Принцип гомотаксальности (принцип Т. Гексли)

Гомология – это биологический термин, означающий соответствие сходных частей, занимающих одинаковое положение в структуре разных организмов. Гомотаксис, в понимании Т. Гексли, - это сходство по определённым признакам (прежде всего палеонтологическим) отложений, занимающих одинаковое стратиграфическое положение в разрезах отдельных областей.

Он исходит из определения В. Смита (1817): «Сходные слои содержат сходные ископаемые». В качестве принципа стратиграфии этот тезис был предложен С.В. Мейеном (1974, с. 168): он «устанавливает хронологические отношения пространственно разобщённых последовательностей геологических тел», что необходимо для построения основы хроностратиграфической шкалы. По Т. Гексли, «...одна и та же область земной поверхности последовательно заселялась разнообразными представителями животного мира», «...порядок последовательности, установленный в данном районе, приблизительно сохраняется и во всех других районах», «серии походят одна на другую благодаря не только общему сходству органических остатков, но и порядку и характеру последовательности серий в каждом районе. Существует сходство расположения, так что отдельные члены каждой серии, так же и серии в целом, находятся в соответствии» (цитата по К.В. Симакову, 1997, с. 101). Таким образом, например, в двух разрезах одинаковые стратиграфические последовательности сопоставляются (рис. 10).

Д		Д
С		С
В		В
А		А

Рисунок 10 - Схема сопоставления одинаковых стратиграфических последовательностей (Рычкова, 2014)

Выше приведенное цитирование ясно показывает, что Т. Гексли гомологичными считал не только последовательности органических остатков, но и сами породы, на что обратил внимание С.В. Мейен в 1974 г. А.И. Жамойда предложил следующую формулировку рассматриваемого

принципа: «Стратиграфическая корреляция конкретных разрезов, если непосредственное прослеживание невозможно, осуществляется сопоставлением гомотаксальных, то есть идентичных, последовательностей признаков, в том числе следов обстановок и событий прошлого» (Практическая стратиграфия, 1984, с. 12).

В геологической истории эволюция различных геосистем, биосистем и экосистем происходила метакронно, с наложением разнородных факторов, имеющих автономную продолжительность и сферы влияния. Принцип гомотаксальности предназначен для учёта влияния этих факторов при геологической корреляции.

3.3.3. Принцип о синхронности сходных по составу (облику) горных пород (принцип А.Г. Вернера)

Частным случаем принципа Т. Гексли является принцип, который Г.С. Бискэ и В.А. Прозоровский (2001) называют принципом А.Г. Вернера «Одинаковые по составу (облику) горные породы одновозрастны». Или предлагается Б.П. Жижченко другая формулировка этого принципа: «Литологически сходные отложения являются одновозрастными» (цитата по Общая стратиграфия, 1979, с. 106). На этом принципе основаны крупномасштабное геологическое картирование, а также геофизические методы корреляции, применяемые в геологии. Однако применение его существенно ограничено в пространстве. Он может уверенно использоваться в пределах небольшого, в основном геологически просто построенного района.

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

В настоящее время считается, что этот основной принцип стратиграфии является частным случаем предыдущего принципа Смита - Гексли (Прозоровский, 2003, с. 81).

Краткая формулировка данного принципа такова: «отложения можно различать и сопоставлять по заключенным в них ископаемым» (цитата по Д.Л. Степанову и М.С. Месежникову, 1979, с. 59).

В качестве авторской формулировки можно привести следующую цитату В. Смита: «все пласты последовательно осаждались на дне моря и каждый из них содержит в себе остатки организмов, которые жили во время его образования; в каждом пласте наблюдаются свои собственные окаменелости, и по ним в известных случаях можно установить одновременность образования пород различных местностей» (цитата по Д.Л. Степанову и М.С. Месежникову, 1979, с. 58).

Данный принцип лежит в основе одного из основных методов биостратиграфии – метода руководящих ископаемых. Однако применение

его ограничено фациями, благоприятными для жизни организмов или сохранения их остатков.

3.3.5. Принцип хронологической взаимозаменяемости стратиграфических признаков (принцип С.В. Мейена)

Этот принцип обобщает процедуру сопоставления разнофациальных и разнопровинциальных толщ горных пород. Впервые он был сформулирован С.В. Мейеном в 1974 г.: «... хронологически тождественными или взаимозаменяемыми являются такие стратиграфические признаки, которые отражают следы одной и той же геосистемной перестройки. При этом имеется в виду геосистема любого ранга, вплоть до планетарной» (С.В. Мейен, 1974, с. 34).

D		D
C		F
B		B
A		A

MN	NO	OP
KL	LK	RQ
AB	BC	CD

Рисунок 11 - Схема, иллюстрирующая принцип Мейена (Глухова, 1992);
(слева: признаки С и F являются хронологически взаимозаменяемыми; справа: сопоставление первого и третьего разрезов возможно при наличии переходного второго разреза)

Несколько позже А.И. Жамойда дал немного отличающееся определение данного принципа, более конкретно отражающее его значение и использование: «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» (Практическая стратиграфия, 1984., с. 13).

Комплексная характеристика стратиграфического подразделения может проявляться и проявляется на практике по-разному в пределах географического распространения стратона. Это становится очевидным, когда сопоставляются разнофациальные толщи или отложения разных биогеографических провинций. Только с помощью взаимозаменяемости различных групп фаун, фаун и флор, палеонтологических и литологических, литологических и геофизических и других сочетаний признаков можно сопоставлять образования любого генезиса и любых климатических поясов на любом удалении, вплоть до планетарного масштаба. Именно на хронологически взаимозаменяемые признаки опираются в тех случаях, когда из нескольких гомотаксальных последовательностей, наблюдаемых в

сопоставляемых разрезах, выбирают одну (по признакам наибольшего веса) и считают её «правильной корреляцией».

В сущности, этот принцип давно и всегда применялся, когда нужно было скоррелировать морские и континентальные отложения или произвести межрегиональную или межконтинентальную корреляцию. Универсальность Международной стратиграфической шкалы и сопоставление с нею региональных схем или провинциальных шкал обычно основаны как раз на описанном принципе.

3.3.6. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (Л.Л. Халфина - Д.Л. Степанова)

Этот принцип был сформулирован в 1967 г Д.Л. Степановым на основе двух положений Л.Л. Халфина (1960) об объективности общих стратиграфических подразделений и неповторимости подразделений региональных шкал как главных черт их обоснования: «Стратиграфические подразделения (стратоны), представляя реальный результат геологических событий, объективно отражают суть этих событий и не повторяются во времени и в пространстве» (цитата по Степанову и Месежникову, 1979, с. 48). То есть они являются уникальными.

Принцип необратимости, уникальности стратонов базируется на общем принципе необратимости эволюции Земли, всех её геосфер и населяющего Землю органического мира. Стратиграфические подразделения, принадлежащие к различным таксономическим шкалам, являются самостоятельными, то есть их установление и стратиграфические объёмы не зависят от соотношений с подразделениями других категорий. При соблюдении единства принципов стратиграфии в установлении стратиграфических подразделений предусматриваются различные ведущие критерии для установления и характеристики подразделений, относящихся к различным категориям. Местные стратиграфические подразделения рассматриваются в качестве основных подразделений, не подлежащих замене стратиграфическими подразделениями региональных шкал или Международной стратиграфической шкалы.

Глава 4. Время в геологии и стратиграфии. Хроностратиграфические подразделения

Время - одно из основ всех бытовых и научных представлений об окружающем мире, о Вселенной и даже о самом себе. Будучи одним из наиболее знакомых свойств физического мира, время имеет репутацию глубоко загадочного явления. Загадка времени заключается в самом понятии природы времени. Блаженный Августин, например, в своём сочинении «Исповедь», написанном около 397 - 398 года от Р.Х., сказал: «Что же такое время? Если никто меня об этом не спрашивает, я знаю, что такое время; если бы я захотел объяснить спрашивающему - нет, не знаю» (цитата по Августину Аврелию, Исповедь, М.: Республика, 1992, с. 167).

Эта цитата хороша не столько тем, что показывает остроту ума древнего философа, сколько тем, что очень чётко отражает и наше современное положение в деле изучения такого всем хорошо знакомого понятия как время. Действительно, современные учёные усиленно занимаются изучением природы времени, но чем больше они задумываются над этим, тем больше знаков вопроса возникает перед нами.

В современном понятии *время* - это атрибут, всеобщая форма бытия материи, выражающая длительность бытия и последовательность смены состояний всех материальных систем и процессов в мире. Время не существует само по себе, вне материальных изменений; точно так же невозможно существование материальных систем и процессов, не обладающих длительностью, не изменяющихся от прошлого к будущему.

Длительность и *последовательность* времени проявляются в том, что все предметы и явления обладают способностью сменять друг друга, существовать одно после другого или изменять свои состояния. Так, день сменяет ночь, одно время года - другим и т.п. *Одновременность* времени проявляется в том, что некоторое зафиксированное сознанием событие оказывается всегда можно связать с двумя другими событиями, одно из которых предшествует данному, а второе - следует за ним. Зафиксированное событие оказывается всегда между двумя другими событиями. Для описания такого рода ситуаций вполне достаточно лишь одной координаты, лишь одного измерения. Так, «сегодня» - это то, что находится между «вчера» и «завтра», и иначе быть не может.

Вопрос о *бесконечности* и *конечности* времени также интересен. Бесконечное время и конечное время неразрывно связаны между собой, бесконечное не реализуется помимо брэнного. Бесконечное и конечное – это различные уровни единого бытия. Причем, бесконечное и конечное наличествуют в любом фрагменте реальности. Бесконечное не скрыто где-то в мега- или микромире, хотя, конечно, есть и там. Бесконечное и конечное – повсюду.

Необратимость и *асимметричность* времени состоит в том, что все протекающие в мире процессы невозможно повернуть вспять. Они

осуществляются только в одном направлении: от прошлого к будущему. Например, старика невозможно превратить в юношу. Необратимость и асимметричность времени в рамках реляционной теории обосновывается на эмпирическом уровне тремя группами фундаментальных факторов, которые связывают с так называемыми «стрелами времени».

Первая – *статистическая «стрела времени»* - обусловлена явлениями термодинамического и статистического характера, стремлением к переходу от структуры более высокого порядка к структуре менее высокого уровня организации, то есть стремлением к хаотическому движению, к деградации.

Вторая - *электродинамическая «стрела времени»*. Она детерминируется свойством любой электромагнитной волны терять интенсивность своих колебаний и энергии с удалением от места своего зарождения. Другими словами, электромагнитное излучение в космосе рассеивается и затухает.

Третья - *космологическая «стрела времени»* - связана с удалением космических объектов друг от друга, вызванного расширением Метагалактики со скоростями, пропорциональными расстоянию между ними. Все эти три «стрелы» времени практически не имеют исключений. Это позволяет сделать вывод о необратимости структуры и последовательности фундаментальных и наиболее массовидных процессов на уровне физической организации материи, что, в свою очередь, определяет необратимость и направленность времени в целом.

Современная физика благодаря работам, прежде всего, А. Эйнштейна, доказала, что время тесным образом связано с пространственными характеристиками материальной системы и зависит, например, от скорости движения, от характера изменений в структуре этой системы, от мощности гравитационного поля и т.п.

В разные периоды истории человечества понимание природы времени трактовалось по-разному. С античной эпохи наметились два понимания природы времени: *идеалистическое* и *материалистическое*.

В идеалистическом понимании время - фундаментальное понятие человеческого мышления, упорядочивающее хаос реального мира в сознании человека путем придания ему последовательности, свойств, форм и течения. Коренное отличие идеалистического понимания времени от материалистического в том, что материализм рассматривает время как объективно существующее, а идеализм - как свойство сознания. Реально существует только настоящее. Прошлое и будущее - идеальные конструкции, создаваемые человеческим разумом.

В идеалистическом понимании времени определились два подхода: субъективно-идеалистический и объективно-идеалистический. В *субъективно-идеалистическом* подходе время рассматривается как продукт человеческого ума, абстракт отношений между последовательными состояниями сознания. Данной точки зрения придерживались Д. Беркли, Г. Спенсер, Э. Мах и др. Близка к этим взглядам и концепция И. Канта. Он

утверждал, что время не есть что-либо объективное и реальное, ни субстанция, ни акциденция, ни отношение, но субъективное условия, необходимое по природе человеческого духа для координации между собой по известному закону всего чувственного, и чистое созерцание. В *объективно-идеалистическом* подходе время, существуя объективно, является производным от мирового разума, мировой абсолютной идеи и т.п. Таковы взгляды Платона, Августина Блаженного, Фомы Аквинского, Гегеля, неотомистов и некоторых других философов. Так, в учении Гегеля время есть результат саморазвивающейся абсолютной идеи. Он писал, что идея, дух стоит выше времени, потому что таковой составляет понятие самого времени. Дух вечен, существует в себе и для себя, не увлекается потоком времени, потому что он не теряет себя в одной стороне процесса.

Материалистическое понимание времени хорошо выражено в работах Дж. Бруно, И. Ньютона, Г. Лейбница, Д. Дидро, И. Гардера, Л. Фейербаха, Ф. Энгельса, В.И. Вернадского и др. В них в свою очередь выделяется три концепции: субстанциональная, причинно-следственная (реляционная) и реляционно-генетическая.

Субстанциональная концепция предполагает, что время есть самостоятельное явление природы, существующее наряду с пространством, веществом и физическими полями. Время в этой концепции рассматривается как безотносительная к чему бы то ни было текучесть, равномерная длительность, в которой всё возникает и исчезает. Эта концепция восходит к взглядам Демокрита и Платона, а также связывается с именем И. Ньютона, который утверждал, что время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью. То есть время никак не связано ни с пространством, ни с какими-либо процессами, а является вместительницей событий.

Причинно-следственная (реляционная) концепция (Г. Лейбниц, Ф. Энгельс, А. Эйнштейн и др.) считает время отношением или системой отношений между физическими событиями (явлениями). В соответствии с этой концепцией время - это порядок следования событий, причём внутренние и внешние воздействия тел определяют длительность отдельного явления в ряду. Эта концепция подтверждается известной теорией относительности А. Эйнштейна, которая в связи с малыми скоростями движения геологических тел здесь не рассматривается. С этой точки зрения пространство и время являются необходимыми объективными свойствами любого материального образования, то есть формами существования материи.

Реляционно-генетическая концепция времени, предлагаемая К.В. Симаковым (1994), исходит из работ Н. Стенона (1957) и В.И. Вернадского (1988), которые имеют непосредственное отношение к геологическому времени, называемому также палеобиосферным (Симаков, 2004) или планетарным (Гладенков, 2004). Особенностью этой концепции является то,

что время рассматривается не как внешний параметр, а как инвариант явлений реального мира. Временные свойства – анизотропность и циклически необратимая структура.

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

В практике геолога время является главным объектом изучения. Без понимания этой категории не возможно целостно осознать историю развития Земли. Научкам о Земле принадлежит ведущая роль в осмыслении общей проблемы времени, исходя из понимания геологического времени, что следует из работ В. И. Вернадского, Г. Штилле, Л. С. Берга, Б. Л. Личкова, С.В. Мейена, Ю.А. Косыгина, Б.С. Соколова, И.В. Крутя, К.В. Симакова и др.

В современном понимании геологическое время – это хронология истории Земли. Другими словами, это длительность развития материальных образований геологической среды, или конкретнее - стратиграфических подразделений. Стратиграфические подразделения проходят определенные стадии развития, исчезают, сменяются другими, то есть являются историческими (временными) категориями. Их характеризует определенная разновозрастность, последовательность и длительность, из чего следует индивидуальность, уникальность, необратимость и дискретность стратон. Изучение геологического времени начинается с установления соотношения событий (раньше - позже, древнее - моложе) и заканчивается определением продолжительности и положения в современной геохронологической шкале.

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

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

Метрическая характеристика заключается в длительности явлений, или, по В.И. Вернадскому, длении. Она позволяет судить не только о том, что моложе и что древнее, но и насколько моложе. При этом измерение времени производится в современных астрономических единицах - годах, или времени обращения Земли вокруг Солнца. В некоторых случаях используются поправки на более быстрое обращение Земли в прошлом.

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

Мерой измерения геологического времени могут быть результаты различных природных процессов биотического или абиотического генезиса, запечатлённые в осадках (осадконакопление, метаморфизм, магматизм, эрозия, эволюция органического мира и т. д.). Для каждого типа процессов может быть предложена своя система координат или своя система измерения. Но при этом очень важен выбор самой наилучшей, привилегированной шкалы, универсальной для всей геологической истории земной коры. Такая шкала должна быть достаточно продолжительной, с узнаваемыми и вполне отличимыми подразделениями, которые должны быть индивидуальными и неповторимыми. Из всех природных процессов, как показала геологическая практика, наилучшими для маркировки геохронологической шкалы являются биологические часы, разработанные на основе эволюции органического мира. Развитие жизни на Земле имеет глобальное проявление. Несмотря на тесную связь с абиотической средой и её изменением во времени, зависимость эволюции органического мира от внешних, в том числе и от геологических, процессов в общем нелинейна и, кроме того, не исключает автономных аспектов развития биологических систем. Наконец, выбор для маркировки биологических часов некоторых ортостратиграфических групп организмов, как правило относительно независимых от фаций, то есть являющихся эврифациальными, позволяет ещё более абстрагировать биохронологию от конкретных геологических событий, регистрируемых с её помощью. Некоторые затруднения вызывает ограниченность использования биохронологической шкалы во времени, так как она позволяет измерять время от начала позднего протерозоя до конца плейстоцена. Однако, не смотря на невозможность использования этой шкалы для более древних отрезков времени, чем поздний протерозой и ограниченность её использования в отношении кватернера, все же именно к этой шкале времени привязываются все другие геологические события и процессы. В настоящее время не существует какого-либо иного альтернативного метода, который бы позволил отказаться от биологической основы шкалы геологического времени. Привязка к единой геохронологической шкале – это есть датирование стратиграфических подразделений, которые предварительно коррелируются между собой по различным признакам.

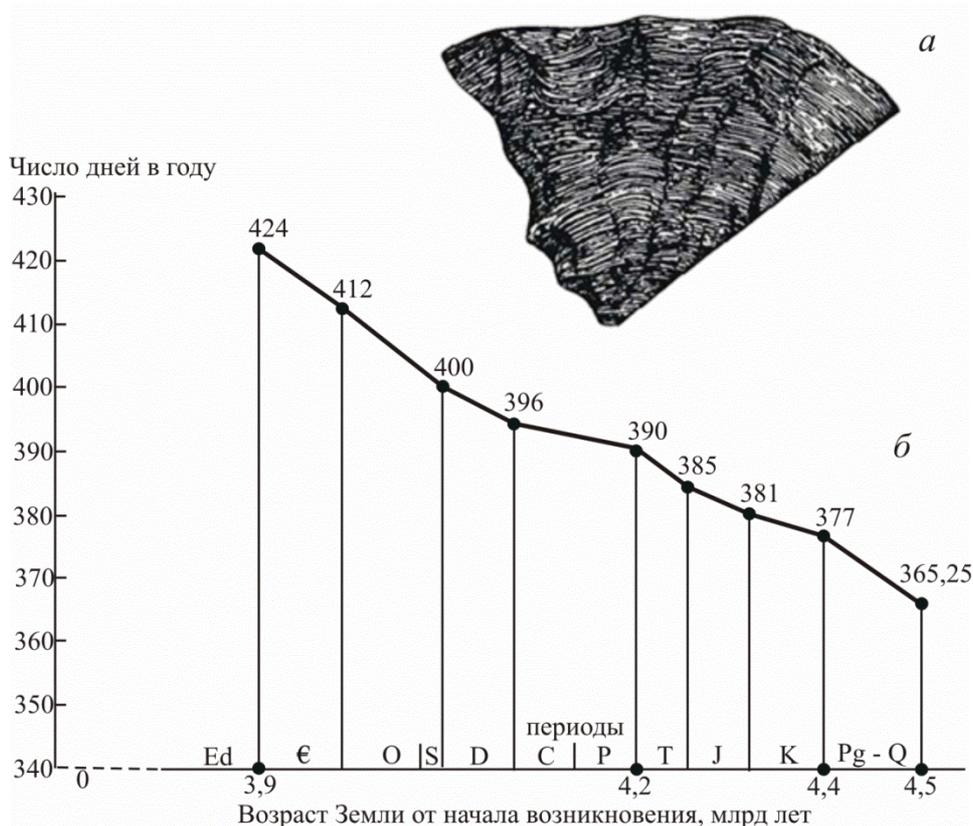
Следует заранее учитывать условность такой корреляции в связи с относительностью синхронности геологических событий, что устанавливается по признакам с вполне ограниченной точностью измерений.

Исторически сложилось, что геохронологическая шкала в настоящее время существует в двух взаимодополняющих вариантах - относительном и абсолютном.

Относительная геохронология возникла совместно со стратиграфией на основе Европейских стратиграфических данных и представляет собой

систему хронологических подразделений, последовательно соподчиненных, - зоны, эры, периоды, эпохи, века и фазы (хроны). Им отвечают материальные геологические образования - эонотемы, эратемы, системы, отделы, ярусы и зоны. Их последовательное сочетание и составляет стратиграфическую шкалу, которая является основной в геологической практике. Такая шкала появилась ещё в XIX в., но до сих пор продолжает уточняться, совершенствоваться и детализироваться. В ней отсутствует измерительный стандарт, стратиграфические объёмы и границы подразделений не соразмерны. Например, силур вдвое короче девона, триас в 1,5 раза короче юры, юра в 1,4 раза короче мела, палеозойская эра 1,55 раза продолжительнее мезозойской. С помощью этой шкалы оценивается последовательность событий, а не их даты в миллионах лет. Всё это и является основанием для определения этой геохронологической шкалы как относительной.

По своему значению такая шкала может быть Международной, Общей, Региональной и Местной.



a - ископаемые кораллы с линиями роста на эпитеке, Закавказье, поздняя пермь;
б - график изменения числа дней в году, вычисленный по линиям роста различных кораллов

Рисунок 12 - Изменение числа дней в году в течение фанерозоя (по Wells, 1963).

Абсолютная геохронология отличается измерением геологического времени в астрономических единицах - годах. При этом обычно

используются производные от латинского слова «annus» (год): ka – Kilo-annorum (10^3 лет), Ma - Mega-annorum (10^6 лет), Ga - Giga-annorum (10^9 лет). Определение времени в годах необходимо для корреляции биостратиграфических подразделений различных участков Земли, а также установления возраста лишённых палеонтологических остатков фанерозойских и докембрийских (архейских и протерозойских) пород. Отсчёт времени производится от настоящего времени, за которое принимается 1950 г. Поскольку по астрономическим данным скорость вращения Земли замедляется примерно на 16,4 с за 1 млн лет, за эталон продолжительности года принят 1900 г.

Стоит также отметить, что используя данные радиологических (изотопно-геохронологических) методов, не надо забывать, что их точность не абсолютна, поскольку основная единица «год» берется в современном его значении. Между тем продолжительность года, как и число суток в году, в течение геологической истории Земли могла меняться. В частности, в отношении изменения количества суток в году геология располагает некоторыми данными. Так, Дж. Уэллс (Wells, 1963), 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 (рис. 12).

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

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

Оба вышеуказанных типа времени согласно К.В. Симакову (1999) являются, континуально-дискретными, и отличие между ними состоит в том, что ход биосферного времени регулируется общими глобальными факторами, а изотопного - внутренними законами распада радиоактивных элементов. Первое (относительное) время фиксирует события,

происходившие под влиянием планетарных факторов, а второе (изотопное) измеряет время от запуска радиологических часов, принадлежащих той или иной минеральной системе. И такие радиологические часы практически малоприменимы для измерения времени существования конкретных палеоэкосистем.

Важными свойствами геологического времени являются, как уже говорилось выше, его направленность, неповторимость, необратимость и дискретность. Время течет только в одном направлении, от прошлого к будущему, через миг настоящего. Оно необратимо и неповторимо, как неповторимы соответствующие стратиграфические подразделения, что подтверждается присущими только им качественными особенностями. Последние же обусловлены всеобщим законом развития природы, то есть движением от низшего к высшему, от простого к сложному, или законом возрастания сложности. Дискретность времени проявляется в ритмичности и даже цикличности геологических процессов, в этапности развития органического мира. Важнейшей особенностью геологической летописи является также то, что большая часть времени не представлена в осадках конкретных разрезов и в эволюционных линиях развития организмов, а попадает на перерывы.

На сегодняшний день в теоритической физике существует понятие кванта времени или мельчайшей и далее не делимой его единицы. Называется этот квант времени «хрононом» (10^{-24} с). Хронон - это время, за которое квант света пересекает расстояние, равное диаметру электрона. Возраст нашей Метагалактики (около 20 млрд лет) составляет 10^{27} хрононов.

Для геологического времени такой мельчайшей единицей называют ритм или цикл осадконакопления, а в стратиграфии – хрон, или время существования биозоны. Еще более дробные единицы времени в стратиграфии в настоящее время установить сложно из-за разрешающей способности существующих методов и недостаточности теоретических разработок в этом направлении.

4.1. Хроностратиграфические подразделения

Раздел стратиграфии, исследующий возраст слоёв и их соотношения во времени именуется *хроностратиграфией*. Хроностратиграфия не имеет своего собственного метода исследования, при соответствующих исследованиях используется весь комплекс доступных стратиграфических методов. Однако не смотря на это хроностратиграфические подразделения широко используются в геологической практике. Согласно Международному стратиграфическому справочнику (2002) - это совокупность пород, как слоистых, так и неслоистых, которые сформировались в течение определённого интервала геологического времени. В какой-то мере аналогом хроностратиграфических подразделений можно считать Общие

стратиграфические подразделения в том виде, как они принимаются в Стратиграфическом кодексе России (2006).

В Международном стратиграфическом справочнике кроме собственно хроностратиграфических подразделений используется также термин хроностратиграфический горизонт (хроногоризонт). Он представляет собой стратиграфическую поверхность или плоскость, которая является повсеместно синхронной. Разумеется, речь может идти только о приблизительной синхронности некоего уровня (например, основания какого-нибудь яруса); на практике хроногоризонты практически не применяются.

Хроностратиграфические подразделения (даются главным образом в соответствии с их международным пониманием согласно Международному справочнику (Гладенков, 2002); см. также Общая стратиграфическая шкала, Общие стратиграфические подразделения).

4.1.1. Ярус и век

Ярус включает все породы, сформировавшиеся в течение века. Это определение нельзя назвать удачным, скорее, более полное определение яруса, данное в Стратиграфическом кодексе России (2006), где, кроме того, указывается, что ярус устанавливается по биостратиграфическим данным, отражающим эволюционные изменения и (или) этапность развития органического мира, и представляет собой совокупность хронозон, объединяемых по какому-либо определённом признаку. Ярус - это подразделение наименьшего ранга в хроностратиграфической иерархии, которое может быть выделено в глобальном масштабе.

Ярус определяется по стратотипам его границ в разрезах, которые внутри непрерывной стратиграфической последовательности отложений, предпочтительно морских, содержат обозначенную точку, выбранную для потенциальной корреляции (ТГСГ, см. Стратотипы границ подразделений Международной стратиграфической шкалы).

Выбору границ ярусов Международной («Стандартной» в интерпретации составителей Стратиграфического справочника) хроностратиграфической шкалы должно придаваться особое значение, так как эти границы служат для определения не только ярусов, но и подразделений более высокого ранга.

Стратотипы нижней и верхней границ яруса представляют собой специфические моменты геологического времени, а временной интервал между ними - временной объём (диапазон) яруса. Верхняя граница яруса определяется нижней границей вышележащего яруса.

Название яруса происходит от названия географического объекта, находящегося вблизи его стратотипа или типовой местности. Веку дается то же название, что и соответствующему ярусу.

4.1.2. Отдел и эпоха

Отдел - это хроностратиграфическое подразделение рангом выше яруса и ниже системы. Геохронологический эквивалент - эпоха. Иногда используются термины надотдел и подотдел.

Новое название отдела происходит от названия географического объекта, расположенного вблизи его стратотипа или типовой местности. Названия большинства общепринятых отделов, однако, образованы от их положения в системе: нижний, средний, верхний. Эпоха, соответствующая отделу, имеет то же название, что и отдел, за исключением того, что названия нижний, средний и верхний, применяемые к отделу, изменяются на ранняя, средняя и поздняя, когда они относятся к эпохе.

4.1.3. Система и период

Система - это подразделение высокого ранга в общепринятой хроностратиграфической иерархии, отвечающее значительному этапу в развитии органического мира. Геохронологическим эквивалентом системы является период. Временной объём общепринятых систем фанерозоя составляет от 30 до 80 млн лет, а объём четвертичной системы - только около 2,58 млн лет.

Названия общепринятых систем имеют различное происхождение и унаследованы от предыдущих классификаций: некоторые, указывают на положение в хронологической последовательности (четвертичная), другие характеризуют наиболее распространенные литологические разности (каменноугольная, меловая), третьи происходят от названий древних племен (ордовикская, силурийская) и только некоторые имеют географические названия (девонская, пермская). Нет необходимости стандартизировать названия систем. Период несёт то же название, что и соответствующая система.

4.1.4. Эратема и эра

Эратема состоит из группы систем, соответствует определённому этапу развития Земли; характеризуется своеобразием геологических отложений и особенностью организмов, населявших Землю. Геохронологическим эквивалентом эратемы является эра. В названиях эратем отражаются основные изменения в развитии жизни на Земле: палеозойская (древняя жизнь), мезозойская (средняя жизнь) и кайнозойская (современная жизнь). Эра несёт то же название, что и соответствующая эратема.

4.1.5. Эонотема и эон

Эонотема - это хроностратиграфическое подразделение, более крупное, чем эратема, и характеризующее в первую очередь специфический этап

развития жизни на Земле. Геохронологическим эквивалентом является зон. Различают три эонотемы, от древней к молодой: архейская, протерозойская и фанерозойская. Сочетание первых двух обычно называют докембрием. В Общей шкале России архей и протерозой являются акротемами (акронами).

4.1.6. Хронозона

Хронозона - это официальное хроностратиграфическое подразделение неопределённого ранга (меньшего ранга, чем отдел), не входящее в иерархию общепринятых хроностратиграфических подразделений. Соответствующее геохронологическое подразделение - хрон или фаза, если речь идёт об аналогах биостратиграфических зон. Временной объём хронозоны определяется в терминах временного объёма ранее установленного стратиграфического подразделения или интервала, такого как биостратиграфическое или магнитостратиграфическое подразделение. Однако если стратиграфическое подразделение, на котором основана хронозона, прослеживается географически настолько, насколько могут распознаваться его диагностические признаки (например, характерный комплекс окаменелостей), то соответствующая хронозона включает все породы, сформированные повсеместно в течение временного интервала, представляемого обозначенным подразделением. Например, хронозона, основанная на временном объёме биостратиграфической зоны, включает все слои, эквивалентные по возрасту всему максимальному временному объёму этой биозоны, независимо от присутствия или отсутствия диагностических ископаемых. Географическая протяженность хронозоны теоретически всемирная, но применимость её ограничена районом, в пределах которого может быть идентифицирован её временной объём.

Докембрий, в отличие от фанерозоя, расчленён на условные геохронометрические подразделения, определяемые возрастом, но не разделён на хроностратиграфические подразделения, выделяемые в глобальном масштабе.

4.1.7. Хроностратиграфические подразделения свободного пользования

Многие официальные хроностратиграфические термины и их геохронологические эквиваленты используются свободно, например хронозона динозавров, век млекопитающих, период осадконакопления. На английском языке при официальном употреблении названия терминов всегда должны писаться с заглавной буквы, при неофициальном употреблении написание терминов подчиняется обычным правилам для имён существительных. Концепция хронозоны свободного пользования практически означает отражение того, что вся совокупность слоёв эквивалентна по возрасту или по какому-то признаку, имеющему распространение во времени.

Глава 5. Методы стратиграфии

В геологической практике по мере прогресса науки и комплексирования её с другими науками количество стратиграфических методов постоянно растёт, и эта тенденция неизбежно будет усиливаться.

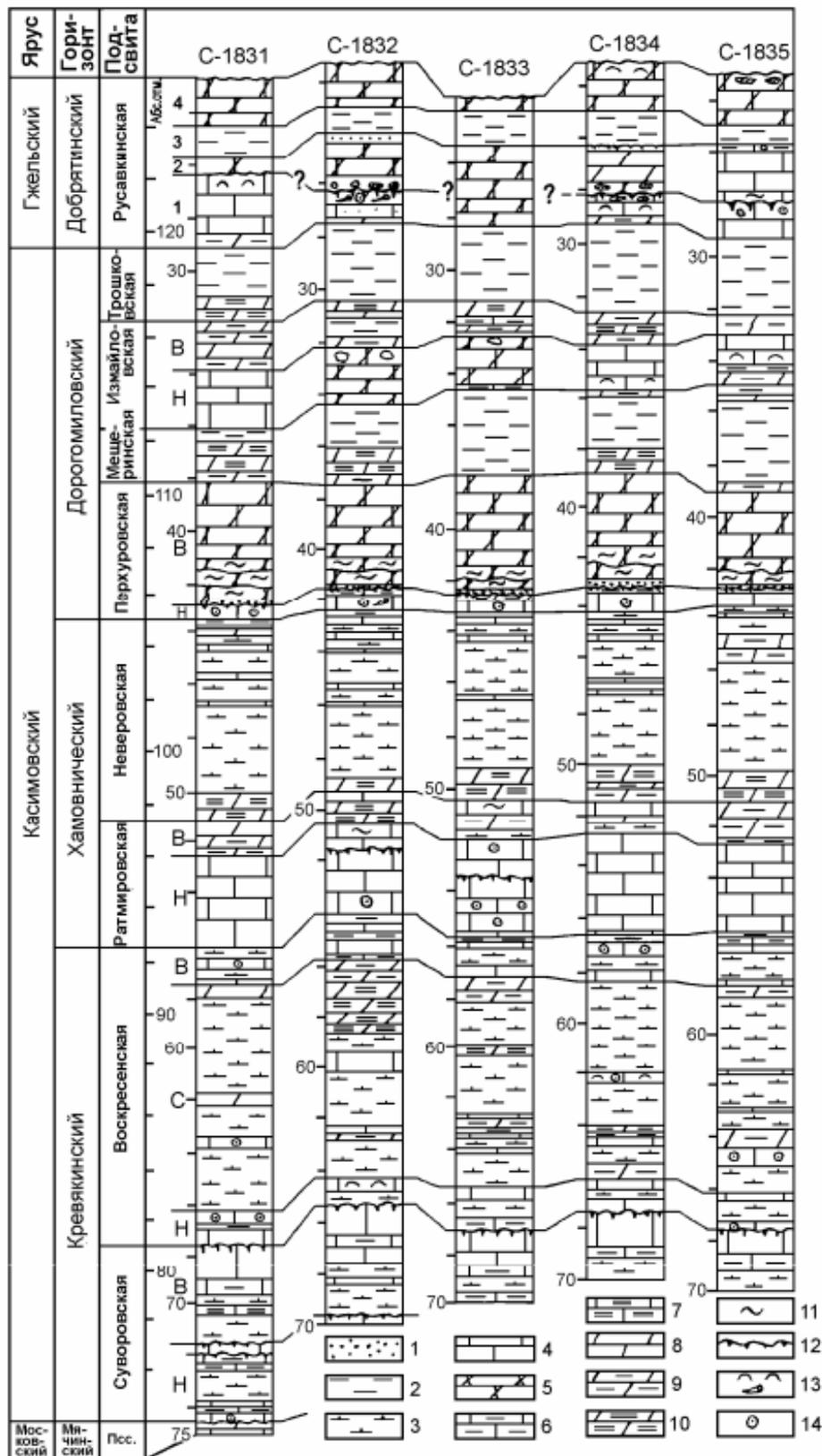
В этой главе рассмотрим 20 методов, применяемых в настоящее время в геологической практике. Стоит также отметить, что, не смотря на большое количество появившихся в стратиграфии методов, главными всё же продолжают оставаться литологический и биостратиграфический методы, остальные считаются вспомогательными.

5.1. Литологический метод

Литологический метод является одним из важнейших методов стратиграфии. С его применения начинаются практически все стратиграфические исследования. Он широко используется, прежде всего, при проведении геологического картирования обнаженных районов, так и при изучении закрытых территорий по материалам горных выработок и буровых скважин. Сущность метода заключается в том, что в изучаемом разрезе выделяются отдельные геологические тела по комплексу литологических критериев, которые коренным образом отличаются от вышележащих и нижележащих отложений. Затем установленные литостратоны прослеживаются последовательно всё далее и далее от исходного разреза до тех пор, пока такое прослеживание оказывается возможным (рис. 13).

Основные критерии связаны с изменениями в разрезах осадочных толщ петрографического состава, минералогических особенностей, слоистости, текстурных параметров, конкреций, окраски, остатков ископаемых организмов, перерывов в осадконакоплении и других признаков. Немало важную роль в расчленении разрезов играют маркирующие горизонты. Палеонтологические остатки при литологическом расчленении разрезов и выделении местных стратиграфических подразделений используются в качестве характерного компонента вещественного состава пород и одного из наиболее важных показателей возраста и палеогеографических условий осадконакопления.

Литологические критерии являются ведущими при установлении границ и определении объёма местных стратиграфических подразделений, так как только они одни, обычно, содержат наглядные, хорошо устанавливаемые непосредственно на месте признаки, по которым выделяются и прослеживаются эти подразделения. Для установления примерно изохронных границ литологические критерии следует применять в комплексе со всеми другими корреляционными признаками, в первую очередь палеонтологическими.



1 – пески; 2 – глины; 3 – глины известковистые; 4 – известняки; 5 – песчаники; 6 – известняки глинистые; 7 – известняки доломитизированные; 8 – мергели; 9 – мергели глинистые; 10 – мергели доломитизированные; 11 – алевриты; 12 – поверхности перерыва; 13 и 14 – органические остатки

Рисунок 13 - Корреляция разрезов по литологическим признакам (Геоисторический..., 1999)

К литостратиграфическим подразделениям относятся местные стратиграфические подразделения (литостратоны): комплекс, серия, свита и пачка, а также вспомогательные - толща, слой (пласт), маркирующий горизонт.

Комплекс - наиболее крупная единица местных стратиграфических подразделений, объединяющая две или более серии, отвечающая крупному этапу в геологическом развитии территории. Комплекс выделяется с учетом данных изотопного возраста, степени метаморфизма и отделяется от комплексов структурным или значительным стратиграфическим несогласием, а иногда и проявлением интрузивного магматизма, может подразделяться на подкомплексы и серии.

Серия объединяет две или более свиты, образующие крупный цикл осадконакопления и (или) охарактеризованные какими-либо общими признаками: сходными условиями формирования (морские, континентальные, вулканические), преобладанием определенных пород (осадочные, магматические, метаморфические) или их направленной сменой, особыми текстурными признаками. Между свитами, входящими в серию, могут наблюдаться постепенные переходы, частичные латеральные замещения, перерывы, незначительные стратиграфические и угловые несогласия.

Свита - основная единица местных стратиграфических подразделений, основная картируемая единица при средне- и крупномасштабной геологической съёмке и первичном расчленении разреза по скважинам. Она представляет собой совокупность развитых в пределах какого-либо геологического района отложений, которые отличаются от ниже- и вышележащих составом и структурами пород, обусловленных их генезисом (морские, континентальные, вулканогенно-осадочные и др.), комплексом остатков организмов, характером метаморфизма, изотопным возрастом, а в ряде случаев геохимическими характеристиками, каротажными данными, показателями климатических обстановок осадконакопления.

Географическое распространение свиты ограничивается территорией, в пределах которой опознаются её основные характерные признаки и прослеживаются нижняя и верхняя границы. Эта территория может соответствовать структурно-фациальной зоне или бассейну седиментации, их частям или иной площади.

Стратиграфический объём свиты должен оцениваться по наиболее полному её разрезу, то есть отвечать всему временному интервалу формирования пород, включаемых в состав свиты. Местами свита может быть представлена не полностью и некоторые интервалы её разреза (например, нижняя или верхняя часть) могут отсутствовать. Свита должна иметь стратотип. Свита может подразделяться на подсвиты и пачки.

Подсвита - подразделение свиты, содержащее большинство признаков свиты, но отличающееся от других подсвит некоторыми признаками, обычно литолого-фациальными и реже палеонтологическими. Подсвиты в

совокупности слагают полный стратиграфический объём свиты и являются картируемыми единицами при крупно- и среднемасштабной геологической съёмке. Свита, расчленённая на подсвиты в одном из районов своего распространения, в других районах может оставаться нерасчленённой.

Пачка - относительно небольшая по мощности совокупность слоёв (пластов), характеризующихся некоторой общностью признаков или одним определённым признаком, которые отличают её от смежных по разрезу пачек в составе свиты (подсвиты) или толщи. Пачки обычно имеют ограниченное латеральное распространение, поэтому в разных районах в конкретной свите (подсвите) может быть выделено различное количество пачек. Пачки могут картироваться при крупномасштабной геологической съёмке.

Толща - вспомогательное местное стратиграфическое подразделение, недостаточность обоснованности которого не позволяет считать его серией, свитой или подсвитой, поскольку неясны соотношения с ниже- и (или) вышележащими отложениями, достоверно не определен район распространения, а также не выполнены некоторые другие требования, предъявляемые к указанным местным стратонам. Толщами рекомендуется называть местные подразделения, выделенные по неполным фрагментарным разрезам, по разрезам единичных скважин или при малом выходе керна, а также по элювию на водоразделах при условии вскрытия горными выработками контактов с подстилающими и перекрывающими отложениями. Стратотип для толщи не устанавливается, однако необходимо указать наиболее представительный ее разрез (разрезы).

Слой (пласт) - маломощные литологически более или менее однородные отложения, отличающиеся по вещественному составу или по остаткам организмов и ясно отграниченные от ниже- и вышележащих слоёв. Морфологическими модификациями слоя являются линзовидный пласт, линза, клин, лавовый поток, залежь и т. д.

Маркирующий горизонт - широко распространенные и фиксируемые на определенном стратиграфическом уровне относительно маломощные отложения (сопоставимые с пачкой, слоем), выделяемые, как правило, в полевых условиях на основании особенностей слагающих их пород, наличия конкреций, остатков определенных организмов и их скоплений (как характерных признаков породы) или других признаков, заметно отличающих данный горизонт от подстилающих и перекрывающих отложений. Маркирующие горизонты могут отражать геологически кратковременные события, если последние выражены в особенностях вещественного состава пород (например, прослой вулканического пепла, пласт угля и др.).

Маркирующие горизонты используются при крупно- и среднемасштабном геологическом картировании и корреляции местных разрезов и стратиграфических подразделений.

Помимо литостратиграфических подразделений выделяются также специальные морфолитостратиграфические подразделения.

Морфолитостратиграфические подразделения представляют собой совокупности горных пород, объединяемых по литологическим или по фашиально-морфологическим особенностям, позволяющим устанавливать положение этих подразделений в разрезе и на площади распространения. Они используются в качестве вспомогательных подразделений по отношению к местным стратонам.

В Стратиграфическом кодексе России (2006) приняты следующие названия этих специальных вспомогательных подразделений: органогенные массивы, олистостромы (гравитационные), клиноформы и стратогены.

Органогенные массивы - сложные, длительно развивающиеся крупные (сотни метров) ископаемые органогенные постройки (риффы, рифоиды, биогермные и биостромные массивы). Они имеют выпуклую или линзовидную форму, слагаются массивными карбонатными породами без седиментационной слоистости, залегают среди стратифицированных отложений в виде изолированных дискретных тел или группируются в протяжённые гряды, цепочки и полосы. Мощность массивов может значительно превышать мощность смежных одновозрастных стратифицированных отложений. Граничные поверхности массивов с вмещающими породами резкие и круто наклоненные, границы резко диахронны. Возраст органогенного массива определяется по его полному стратиграфическому объему. Крупные органогенные массивы картируются как самостоятельные стратоны.

Олистостромы (гравитационные) - хаотические ассоциации пород (микститы), состоящие из гетерокластического и часто разновозрастного материала (олистолитов), погруженного в относительно мелкокластическую бесструктурную массу (матрикс) обычно иного, чем олистолиты состава, слабо стратифицированную или без следов стратификации. Характерны пластообразная или линзовидная форма и резкость границ как в подошве и кровле, так и по латерали. Олистостромы могут входить в объем местных стратонов или, если они могут быть изображены на геологической карте, выделяться в качестве самостоятельных стратиграфических подразделений. Возраст олистостромы определяется по палеонтологической характеристике и (или) по изотопным данным матрикса с учетом возраста олистолитов и вмещающих олистострому отложений.

Клиноформа - клиновидная (линзовидная) в разрезе толща с отчётливыми первичными наклонами слоёв, сложенная обломочными породами и формирующаяся в склоновой части палеобассейна седиментации за один цикл колебаний относительно уровня моря. Клиноформы последовательно сменяют друг друга, от береговой линии омолаживаясь от областей питания к центру бассейна. Стратиграфический объем клиноформы определяют по полному временному интервалу её образования.

Стратоген - совокупность четвертичных (возможно, и неогеновых) отложений, обособленных в разрезе по принадлежности к определённым генетическому типу (аллювиальному, ледниковому, эоловому и др.) или по

сочетанию нескольких типов и занимающих определённое стратиграфическое положение. К признакам формирования относятся в первую очередь вещественный состав отложений, характер их залегания и геоморфологические особенности.

Отдельно выделяется *поток*. Это дискретное экструзивное вулканическое тело, различимое по текстуре, составу или другим объективным критериям. В качестве официальных литостратиграфических подразделений выделяются и имеют собственное название только самые характерные и широко распространённые потоки.

5.1.1. Петрографический (литологический) состав

Это одна из главных характеристик, по которым проводится выделение местных стратиграфических подразделений. На самостоятельные единицы расчленяются залегающие одна над другой толщи различных типов пород. С определёнными трудностями связано проведение границ смежных толщ, имеющих сложный петрографический состав или при наличии постепенных переходов между ними. Слой, по которому проводится граница, должен легко выделяться в поле и хорошо прослеживаться. В силу этого он не всегда соответствует первому появлению в разрезе данной петрографической (литологической) разновидности. Переходную пачку, где уже наблюдаются отдельные элементы нового состава, принято относить к нижнему подразделению из двух смежных подразделений. В циклично построенных толщах стратиграфическое разграничение местных стратиграфических подразделений может проводиться по изменению соотношений петрографических типов пород в составе элементарных циклитов. Однако четких литологических отличий для выделения разных таксонов местных стратиграфических подразделений не существует, они специфичны для разных структурно-формационных зон и типов отложений.

5.1.2. Минералогический состав

Данный признак наиболее важен при изучении обломочных пород. Выделение литостратиграфических единиц на основании изменения характеристики литологического состава отложений возможно по: *гранулометрическим параметрам* - конгломераты, гравелиты, дресвянники, песчаники, алевролиты или чередование любых вышеприведенных разновидностей; *собственно минералогическому составу* - кварцево-полевошпатовые, глауконитово-кварцевые, кварцевые, моно-, олиго-, полимиктовые и др.; *определению количественного минерального состава*; *минеральному составу цемента* - гипсовый, ангидритовый, доломитовый, кальцитовый, галитовый и т.п.; *соотношению обломков и цемента* - песчанистые или глинистые гравелиты, карбонатные конгломераты и т.п.; *степени окатанности и сортированности обломков в породе*; *распределению*

обломков в слое, распределению аутигенных, акцессорных и других минералов в толще и другим особенностям элементов обломочных пород.

5.1.3. Окраска

Окраска пород один из наиболее наглядных их признаков. Она может быть *первичной* и *вторичной*. Первичная окраска осадочных толщ отражает характер вещественного состава пород и физико-химические условия осадконакопления. Для стратиграфических целей интерес представляет, как *унаследованная окраска*, обусловленная цветом обломочных компонентов пород или минералов, так и *сингенетическая*, связанная с окраской аутигенных минералов, а также цветом цемента и пленок, покрывающих зерна минералов. Первично окрашенными породами являются черные углистые аргиллиты, черные доломиты и известняки, зеленые глауконитовые песчаники и оранжевые гипсы. Широко развиты первично окрашенные красноцветные породы. Их окраска обусловлена пленкой гидроокислов железа вокруг обломочных зерен и скоплением гидроокислов железа в цементе. Первично однородные черные, темно-серые тона окраски могут быть связаны с примесью органических соединений, или с сингенетичными минералами железа и марганца. Но определение первичности или вторичности окраски требует специальных исследований.

На первичность указывает окраска в аутигенных брекчиях, пересечение поверхностью размыва разноокрашенных слоев и т.д. Первичная красноцветная окраска пород связана с палеогеографическими обстановками и приурочена обычно к мелководным, прибрежным и лагунно-континентальным отложениям. Но по разрезу и латерали эти породы могут замещаться сероцветными отложениями, что затрудняет их корреляцию. В отдельных случаях красноцветная окраска является хорошим маркирующим признаком.

Вторичная окраска пород проявляется при их преобразовании, в результате разрушения и видоизменения первичной окраски пород, которое может происходить вследствие различных наложенных процессов, например, метаморфизма, регрессивного эпигенеза (скрытого гипергенеза), выветривания. Чаще яркие желтые, красные, зеленые породы имеют вторичную окраску.

5.1.4. Конкреции

Конкреции сравнительно широко распространяются в осадочных породах самого различного состава и происхождения. Но значению конкреций для стратиграфических исследований пока еще уделяется мало внимания.

Конкреции представляют собой минеральные тела, резко отличающиеся от вмещающих пород по физическим свойствам, структуре и

составу, формирующиеся за счет диффузионной концентрации рассеянных компонентов вмещающей среды, процессов метасоматоза, переотложения, а также при раскристаллизации коллоидных сгустков. Рост минеральных зёрен конкреции происходит во всех направлениях от (или вокруг) одного или многочисленных центров. Центрами роста часто оказываются посторонние тела, в частности органические остатки. По форме чаще округлые или овальные, но в зависимости от условий роста могут иметь и самые разнообразные очертания.

По условиям образования выделяют *одноактные* конкреции, рост которых происходил без существенных остановок, и *многоактные*, когда в процессе роста образовалось первоначально некоторое ядро, вокруг которого происходила затем собирательная кристаллизация. В качестве ядра могут выступать скопления минералов другого состава или органические остатки.

Конкреции бывают также *первичные* и *вторичные*. Примером вторичных конкреций могут служить широко распространенные в осадочных породах конкреции лимонита, обычно являющиеся продуктом окисления первичных конкреций пирита и марказита либо окисления и псевдоморфного замещения ярозитовых и сидеритовых стяжений. Известны конкреции кварца разнообразной структуры, образовавшиеся при метасоматическом замещении более ранних конкреций кальцита, и конкреции бирюзы, выросшие внутри конкреций фосфорита. При интенсивной перекристаллизации зернистых конкреций таких минералов как кальцит, барит, целестин, в них часто образуется внутренняя полость с хорошо ограниченными кристаллами (конкреции-жеоды).

По структуре конкреции бывают *зернистые* (*кристаллические* - пирит, кальцит; *скрытокристаллические* - кремень, бирюза), и *радиально-лучистые* и *сферолитовые* (пирит, марказит, гипс, кальцит, целестин, азурит и т.д.). Зернистые, часто полиминеральные, конкреции называются иногда *нодулями* или *желваками*.

Большинство конкреций являются вторичными образованиями по отношению к самой породе. Конкреции осадочных пород формируются в процессе седиментации или при последующем преобразовании осадков. Они возникают в результате избирательного постседиментационного метасоматического замещения первичной породы, или в результате раскристаллизации коллоидов, часто бывают вытянуты параллельно напластованию и часто легко отделимы. Тонкозернистые или скрытокристаллические конкреции-стяжения диффузионно-метасоматического генезиса известны как в осадочных, так и в изверженных породах. Широко распространены разнообразные радиально-лучистые, сферолитовые и дендритные конкреции, различающиеся по особенностям строения образующих их кристаллических агрегатов.

В ходе своей эволюции конкреции часто претерпевают серьезные изменения во внутренней структуре с образованием минеральных тел более сложного строения, например, *конкреций-жеод* или *литофиз* с вторичными

внутренними полостями-жеодами при перекристаллизации и растворении, или при усадке – *септарии*.

Комплексы конкреций играют большую роль в стратиграфическом расчленении разрезов и корреляции. Ценность их для геолого-съёмочных, геологоразведочных работ связана с простотой определения как в естественных выходах, так и в горных выработках, а также в керне буровых скважин. Кроме того, по конкрециям можно получить достоверные данные с использованием простейших полевых химических реакций при контроле точными методами лабораторного анализа. Например, в Печорском угольном бассейне по конкреционным комплексам были прослежены изохронные границы трех подсвит воркутинской свиты пермского возраста на расстояние около 400 км. Конкреции в этом месте представлены железисто-карбонатным и кремнистым составом и характеризуют лагунные, прибрежно-морские, дельтовые и болотные фации.

5.1.5. Слоистость

Слоистость горных пород - один из важнейших признаков осадочных пород, имеющих исключительное значение при описании разрезов, их расчленении и определении условий осадконакопления. Под *слоистостью* понимается строение горных пород в виде налегающих один на другой слоёв, различающихся минеральным составом, цветом, особенностями слагающих породы частиц и другими признаками. Различается слоистость горных пород двух типов: *слоистость осадочных толщ* и *слоистость внутри слоя породы*.

Слоистость осадочных толщ (стратификация, или напластование) образуется преимущественно слоями или пластами горных пород, различных по составу, текстуре и другим особенностям. В зависимости от мощности слоёв выделяют *тонкую, мелкую, крупную* и *очень крупную* слоистость горных пород. По соотношению толщины отдельных слоёв она может быть *равномерной* и *неравномерной*. Первичное залегание слоёв обычно *горизонтальное*, в некоторых случаях *наклонное*. Этот тип слоистости горных пород обусловлен изменением поступающего в осадок материала (в виде взвеси частиц разной величины или в растворе), сменой условий внутри области осадконакопления (гидродинамики, химического состава вод, жизнедеятельности организмов и др.), которые связаны с сезонными и климатическими колебаниями, миграцией фаций, тектоническими движениями, вулканизмом и др.

Слоистость внутри слоя (слоичатость) выражается в чередовании обычных тонких слойков (толщина от долей миллиметра до 1-2 см), различающихся по структуре составляющих породу компонентов, их минеральному составу или примесям. Слойки, группируясь, образуют серии или пачки, отделённые более или менее выраженными границами. В зависимости от фактора, формирующего осадок (главным образом динамического состояния среды отложения), эта слоичатость по форме

слоёв и их расположению может быть *горизонтальной, косой и волнистой* (с промежуточными типами - *косоволнистой* и *пологоволнистой*). Горизонтальная слоистость, возникающая в спокойных водах, часто связана с сезонными колебаниями климата, косая - формируется различными течениями, волнистая - волновыми движениями вод.

Горизонтальную слоистость горных пород используют при определении элементов залегания горных пород, по некоторым типам горизонтальной слоистости можно судить об относительной или абсолютной скорости накопления осадков (ленточная слоистость). С помощью косой слоистости горных пород определяют направления перемещения осадка, а иногда и положения области сноса.

Выделяют несколько генетических типов слоистости горных пород, связанных с различными условиями их формирования: *эоловая, речная временных потоков, озёрная, дельтовая, различных морских течений, зоны морских волнений, зоны спокойной морской седиментации*.

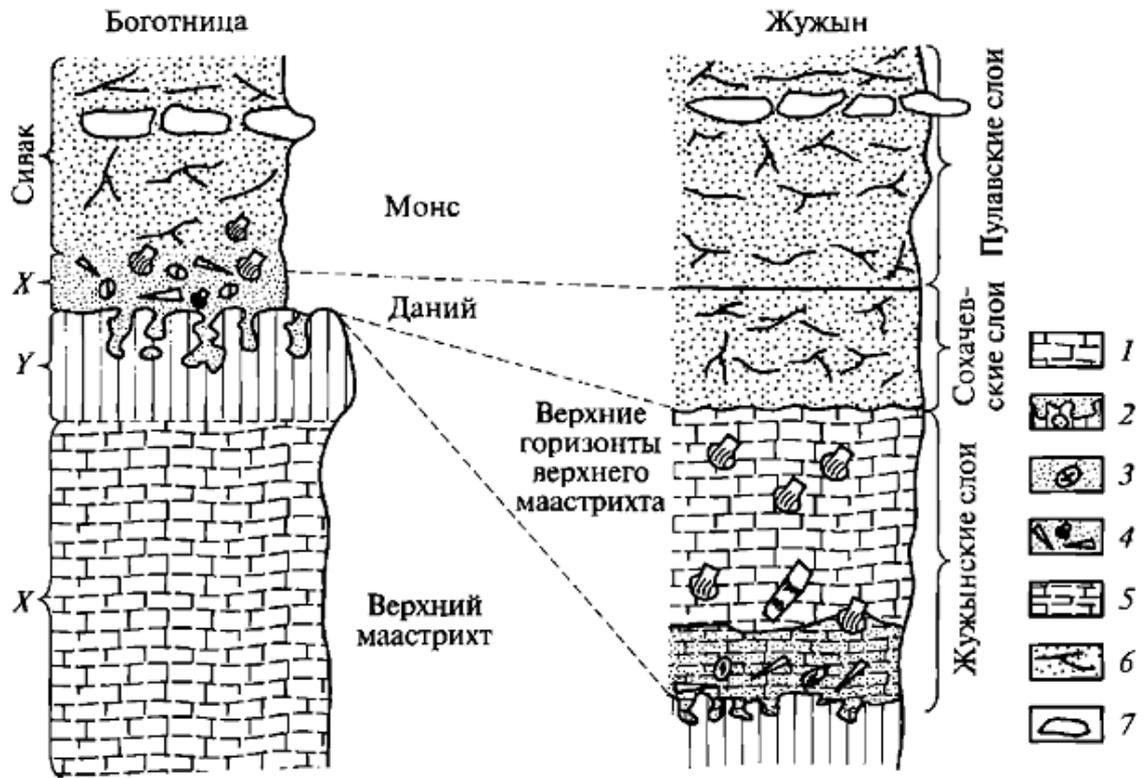
По степени проявления слоистость горных пород может быть резко *выраженной, отчётливой* и *недоразвитой*. При правильной повторяемости элементов слоистости горных пород последняя называется *ритмической*; при наличии разных типов нарушений - *нарушенной* (в результате жизнедеятельности различных донных организмов, физико-химических процессов, метаморфизма и других причин) и даже полностью *уничтоженной*.

Изучение слоистости горных пород имеет большое практическое и теоретическое значение: при проведении фациального анализа и восстановления палеогеографии, при стратиграфическом расчленении и корреляции осадочных толщ. Так, например, учет слоистости и слоистости позволяет предвидеть степень выдержанности по площади определенных слоёв, оценить направленность фациальных изменений и даже выделить местные стратиграфические подразделения преимущественно по этим признакам. По характеру слоистости хорошо расчленяются и коррелируются монотонные сульфатно-доломитовые толщи верхнего силура – нижнего девона Сибирской платформы (прослеживаются на десятки тысяч квадратных километров). Статистическое изучение слоистости и знаков ряби внутри слоя может быть использовано для расчленения и корреляции отложений, однообразных по другим признакам. Такая работа позволила расчленить красноцветные формации в пределах Большого Каньона (юго-западная часть Северо-Американской платформы).

5.1.6. Перерывы в осадконакоплении

Поверхности перерывов значительно чаще позволяют однозначно устанавливать подобные границы. Помимо деления более или менее мощных толщ различного состава, они обычно выражаются в рельефе (депрессией или основанием уступа) - заметным рельефом самой

поверхности, а также наличием примыкающих к плоскости раздела базальных или апикальных образований (рис. 14). При этом следует подчеркнуть, что степень выраженности границ перерывов не зависит от длительности перерывов или пространственного распространения несогласий.

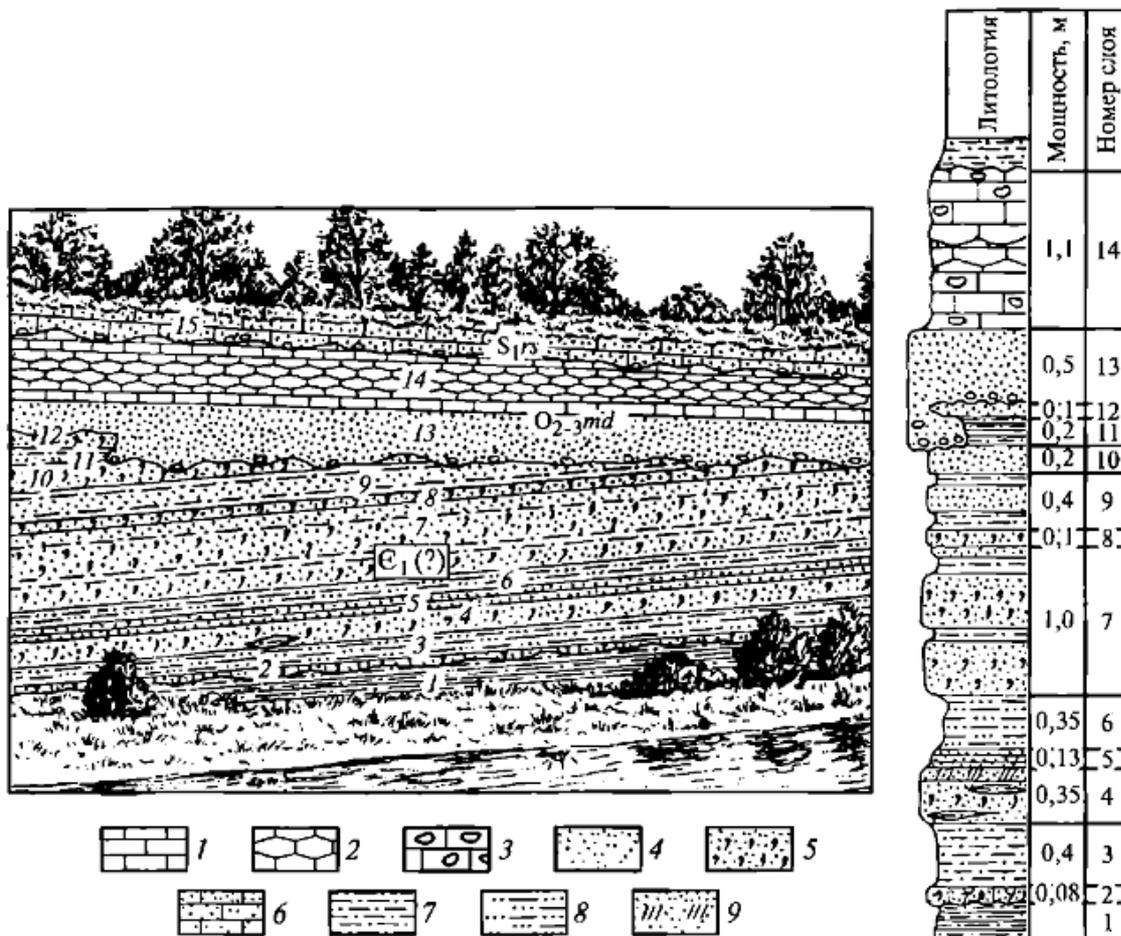


1 - опока; 2 - «твердое дно» («hard ground»); 3 - глауконитовые пески; 4 - верхнемеловые органические остатки; 5 - «опока» с прослоями мергелей; 6 - известковистая опока; 7 - известняки

Рисунок 14 - Разрез пограничных мел-палеогеновых отложений в бассейне р. Висла (Найдин, 1976)

Широко известны случаи, когда признаки перерыва одного и того же несогласия достаточно быстро изменяются в пространстве от отчетливого углового до практически незаметного стратиграфического. Вообще, чрезвычайно распространенные «скрытые несогласия» очень затрудняют определение границ литостратиграфических подразделений. Установлению наличия скрытого несогласия помимо данных биостратиграфии может помочь плоскостное ограничение норок сверлильщиков, корневых систем растений, ракушечников, особенно состоящих из ориентированных раковин, изменение цвета пород и т.п. Зачастую не всегда удается однозначно выяснить, является ли поверхность кровлей (или подошвой) частного слоя в отчетливо слоистой пачке или это поверхность перерыва, и если он региональный, то, по определению литостратиграфического подразделения, эта поверхность является его границей. Разобраться в данном вопросе помогает лишь камеральный анализ материалов исследования.

Гораздо сложнее установление литологического раздела (стратиграфического несогласия) в неслоистых однообразных осадках - глинистых, карбонатных, обломочных или любых других. Здесь может помочь различие в окраске, либо наличие инородных, или имеющих другой цвет прослоев, которые срезаются или сами срезают прилегающие отложения (рис. 15, зерна глауконита в слое 12).

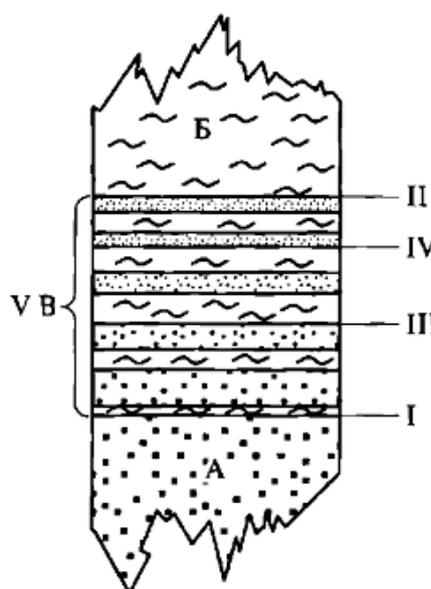


Скрытые несогласия в основаниях силурийской системы и ордовика (в левой части рисунка), а также между слоями 1 и 2. Угловое несогласие в основании ордовикской системы (в центре и правой части рисунка); 1 - 3 - известняки; 4 - 6, 8, 9 - песчаники; 7 - алевролиты

Рисунок 15 - Разные виды несогласий в палеозойских отложениях в обрывах р. Днестр у с. Субоч (Практическая стратиграфия, 1984)

Однако часто смежные литостратоны согласно сменяют друг друга. При этом признаки более древнего подразделения постепенно исчезают, а более молодого все отчетливее проявляются. Тогда между типично выраженными единицами располагается более или менее мощная пачка переслаивания. В таком случае границы между ними проводятся относительно произвольно и во многом зависят от решения автора данного литостратиграфического подразделения или согласования этого вопроса при каком-то обсуждении. Для необходимой в данном случае однозначности

проведения рубежа используются следующие возможности (рис. 16): I - первое появление стратиграфически верхнего литологического признака (основание первого вновь появившегося прослоя); II - последнее проявление стратиграфически нижнего литологического признака (кровля последнего прослоя нижележащего литостратона); III - середина пачки переслаивания (лучше по кровле или подошве какого-то пласта); IV - любая граница слоя в пачке переслаивания, каким-то образом наиболее отчетливо выраженная; V - выделения всего интервала переслаивания в самостоятельный литостратон.



В – свита переслаивания песчаников и глин; I-V - объяснение см. в тексте

Рисунок 16 - Варианты положения границ между согласно залегающими свитами А (песчаники) и Б (глины)

Практически правомочен любой вариант, важно лишь, чтобы он был опубликован и стал известен всем заинтересованным лицам. В противном случае возможны различные толкования, которые часто приводят к значительным ошибкам, иногда выражающимся в крупных материальных потерях.

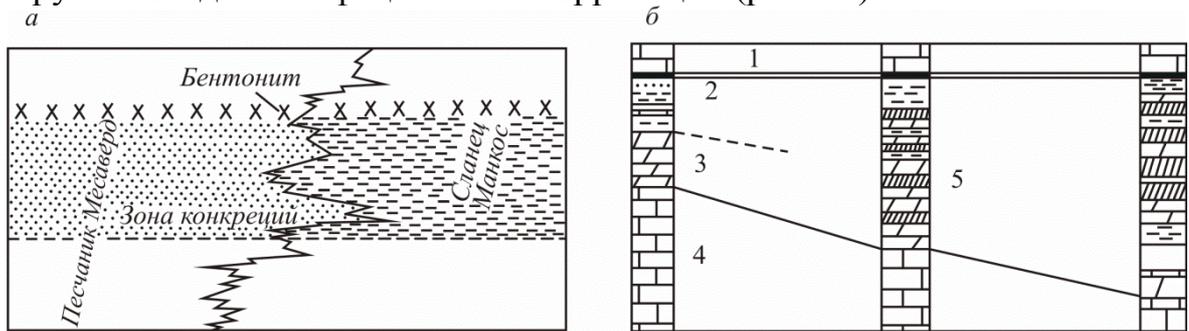
5.1.7. Маркирующие горизонты

Значение маркирующего горизонта очень велико в стратиграфии. С помощью маркирующего горизонта возможно расчленение мощных толщ, причем выделенные литостратоны в этом случае имеют строго определённые границы. В то же время, используя маркирующие горизонты, возможна и детализация разрезов отдельных свит.

Так, например, в достаточно мощной (более 120 м) лопсинской свите кимеридж-нижневолжских глин, развитой на восточном склоне Приполярного Урала, имеется тонкий выдержанный пропласток известковистого битуминозного сланца, переполненный мелкими

аммонитами (кардиоцератидами), в общем малохарактерными для уральского кимериджа, и бивальвиями. Местами порода переходит в слоистый битуминозный известняк. Мощность этого прослоя 0,1 - 0,2 м. Он приурочен к кровле зоны *Aulacostephanus sosvaensis* и прослежен с севера на юг более чем на 80 км. Благодаря наличию этого маркирующего горизонта стало возможным более детальное расчленение этой свиты непосредственно в поле, что важно при проведении детальных геологических работах.

Разумеется, распространение маркирующих горизонтов также ограничено. Они могут выклиниваться, могут постепенно изменяться по литологическому составу, могут быть размыты. Например, упомянутый выше битуминозный прослой в лопсинских глинах на севере Северо-Сосьвинского бурогольного бассейна на расстоянии 10 км расщепляется на три прослоя, разделенные обычными глинами мощностью от 5 до 14 м, а затем выклинивается вовсе. Наибольший интерес представляют те маркирующие горизонты, которые протягиваются через толщи различного литологического состава, как это отмечается для бентонитовых или конкреционных прослоев. В этом случае они являются важным инструментом для межфациальных корреляций (рис. 17).



a - корреляция разнофациальных отложений; *б* – установление изохронной подошвы свиты по маркирующему слою чёрных сланцев.
 1 - известняк Мэдисон; 2 - сланец Трифоркс; 3 - 4 - формация Джефферсон (3 - доломитовая свита; 4 - свита известняка); 5 - ангидрит Потлатч

Рисунок 17 - Примеры стратиграфических корреляций с помощью маркирующих горизонтов (Крумбейн, Слосс, 1960)

Маркирующими бывают не только отдельные прослои, но и сравнительно мощные толщи. Так, например, более чем 2,5 километровая юрско-меловая толща в бассейне р. Вилюя отличается значительной невыдержанностью литологического состава и малой контрастностью изменений зернистости пород по разрезу. Поэтому корреляция разрезов здесь сопряжена со значительными трудностями, особенно в закрытых участках, где ввиду малого выноса породы основную информацию о разрезе даёт каротаж скважин. В то же время в составе этой толщи на границе нижней и средней юры выдержанная пачка глин мощностью от 25 до 45 м, которая распространена повсеместно, очень чётко выделяется на каротажных диаграммах и соответственно служит важнейшим репером при всех

геологических сопоставлениях. Она является, по существу, единственным надежным маркирующим горизонтом внутри всей юрско-меловой толщи региона (Степанов, Месежников, 1979).

5.2. Тефростратиграфический метод

Тефростратиграфия является частным случаем литологического метода в стратиграфии. Она изучает слои вулканического пепла и продукты их разрушения (например, прослой монтмориллонитовых глин) в разрезах (их идентичность или различие) и через их датирование переходит к тефрохронологии и определенным корреляциям. Тефростратиграфия может играть заметную роль в корреляциях разрезов в вулканических районах Земли. Но в целом она пока играет вспомогательную роль.

Метод основывается на том, что выбросы пепла крупных вулканических извержений разносятся на огромные расстояния. Вблизи вулкана выпадают грубые обломки, на далеких от него расстояниях (до сотен и тысяч километров) отложения постепенно становятся тонкозернистыми. По мере удаления от вулкана кроме гранулометрического, изменяется также минеральный состав пеплов, что объясняется эоловой и гравитационной дифференциацией материала.

При сильных извержениях вулканов, особенно андезитодацитовых, на расстоянии в сотни и тысячи километров от вулкана происходит отложение больших по мощности слоев пеплов. Впоследствии эти пеплы становятся маркирующими горизонтами, служащими стратиграфическими реперами при изучении осадочных толщ, так как их образование на всей площади происходит почти одновременно и в короткие сроки (от часов до нескольких месяцев). С помощью тефрохронологии, например, восстановлена история развития примерно десяти вулканов Камчатки на территории России.

Наиболее тонкие (размером в десятки микрон и менее) фракции пеплов при сильных извержениях вулканов достигают верхних слоев атмосферы и переносятся в стратосфере на большие расстояния. Например, считается, что пепел вулкана Кракатау извержения 1883 г. три раза обогнул Землю, прежде чем выпал на поверхность Земли.

Таким образом, основными проблемами являются:

- 1) обнаружение пепловых прослоев и следов их разложения в геологических разрезах;
- 2) доказательство идентичности источника таких прослоев в разных разрезах.

Для определения идентичности пепловых прослоев в разных разрезах используется комплекс методов. С одной стороны, можно использовать косвенные (например, биостратиграфические) признаки. С другой стороны, анализируется и сравнивается химический состав пеплов (присутствие минералов-индикаторов, содержание K_2O и т.д.) из разных прослоев. Кроме

того, используется изучение пепловых частиц с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Так, например, на Камчатке с использованием тефростратиграфического метода определен возраст различных вулканических образований, палеоцунами, морских и речных террас, палеопочв, датированы культурные слои археологических стоянок человека, четко обозначены возрастные рубежи палеогеографических этапов при реконструкции растительности и климата. К настоящему времени создана тефростратиграфическая шкала голоцена Камчатки, включающая около тридцати маркирующих прослоев тефры крупнейших извержений.

5.3. Сравнительно-фациальный метод

Прежде чем говорить о значении сравнительно-фациального метода в стратиграфии, стоит привести определение «фации». Под *фацией* понимаются отложения, литологические и палеонтологические признаки которых указывают на определенные условия их формирования, отличные от условий формирования подстилающих, перекрывающих осадков и замещающих их по латерали (Степанов, Месежников, 1979).

Для отдельно взятых литологических признаков фации американскими геологами был предложен удачный термин «*литофация*», а характерные для определённой фации комплексы ископаемых организмов образуют «*биофации*». Поскольку биофация и литофация являются частными характеристиками какой-либо конкретной фации, в общем случае они должны пространственно совмещаться, особенно в тех случаях, когда биофации устанавливаются по бентосным организмам. На практике, однако, такие совпадения бывают далеко не всегда. Целый ряд организмов, в первую очередь планктонных и нектонных, не обнаруживает жёсткой связи с определёнными фациями. Например, позднемеловые радиолярии в Западной Сибири встречаются как в кремнистых песчаниках и диатомитах, так и в карбонатных и бескарбонатных глинах.

Далеко не всегда жёстко привязаны к определённым литофациям и комплексы бентоса. Достаточно вспомнить среднеюрских иноцерамид или позднеюрских и раннемеловых бухий, приведенных в качестве примера в книге Д.Л. Степанова и М.С. Месежникова «Общая стратиграфия» (Степанов, Месежников, 1979). С другой стороны, нередко выделяемые при практической работе литофации соответствуют нескольким биофациям. Чаще всего это связано с перебивами и сортировкой фауны в процессе формирования осадка. Например, в основании мела бассейна р. Печоры залегают алевроитовые глины, заключающие мелкие линзы глинистого алевроита с многочисленными бухиями. Глины и алевроиты, содержат принципиально отличные комплексы фораминифер (Степанов, Месежников, 1979). Однако известны случаи, когда достаточно четко устанавливаемая литофация отвечает нескольким биофациям. Так, например, кимериджские

отложения на восточном склоне Приполярного Урала представлены очень характерной толщей синевато-серых монтмориллонитовых глин лопсинской свиты. На западе для лопсинской свиты характерен биоценоз, в котором ведущее место занимают крупные устрицы и астарты (Захаров, 1970), восточнее, при сохранении всех основных литологических признаков, устрицы становятся чрезвычайно редки, и, в сущности, здесь уже новый биоценоз астарт и мелеагринелл.

Со времени установления фаций возникла проблема их соотношений со стратиграфическими подразделениями. Как известно, А. Грессли рассматривал фации внутри выделенных им стратиграфических единиц. Фация, таким образом, являлась пространственно обособленной частью стратона. Эта точка зрения сохранилась в практической деятельности геологов и до настоящего времени. Однако во времена А. Грессли границы стратиграфических подразделений считались изохронными. В наши дни, когда четко определено различие между литостратиграфическими и хроностратиграфическими подразделениями, соотношения фаций и стратонов оказываются более сложными: фации, естественно, тесно сопряжены с литостратиграфическими подразделениями и, подобно этим подразделениям, могут пересекать хроностратиграфические границы. Однако любые стратиграфические подразделения содержат, как правило, различные фации, не только замещающие друг друга по простиранию, но и сменяющиеся вверх по разрезу. Особенно показательны в этом отношении угленосные ритмы Донбасса или Пенсильвании, каждый из которых состоит из ряда резко контрастных фаций. В связи с этим часто возникает представление о том, что, в сущности, каждый обособленный слой представляет собой самостоятельную фацию. Этот, в целом справедливый вывод, однако, имеет ряд ограничений, поскольку возможно существование конкретных фаций, представленных различными типами пород. Наиболее представительным примером являются фации мутьевых потоков, сложенные осадками с последовательно убывающими по разрезу размерами частиц.

Для стратиграфа фации имеют огромное значение. Так как ничто так не затрудняет сопоставление разрезов и не служит причиной появления разноречивых представлений о строении осадочных толщ, как наличие фациальных изменений. Подавляющее число спорных стратиграфических проблем сводится к решению проблемы - размыв или фациальное замещение. Как правило, возможности непосредственного прослеживания слоёв в поле сильно ограничены либо условиями обнажённости, либо недостаточным количеством буровых скважин и отсутствием в буровом материале всей полноты информации о разрезах. Руководствуясь сравнительно-фациальным методом можно произвести сопоставление разрезов, представленных резко различными породами, если имеется возможность в промежуточных разрезах установить направление и характер изменения отдельных пластов или пачек пластов. Однако важным способом выявления фациальных переходов является биостратиграфическая корреляция.

Установленные фациальные соотношения позволяют прогнозировать строение осадочных серий в смежных районах, дают важнейший материал для палеогеографических реконструкций и правильной ориентации на этой основе геологоразведочных и поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых.

5.4. Циклостратиграфический (ритмостратиграфический) метод

Циклостратиграфический (ритмостратиграфический) метод включает в себя расчленение и сопоставление осадочных толщ, основанные на использовании неоднократного чередования в разрезах сходных явлений или признаков. Отдельно взятые цикло- или ритмостратиграфические границы недостаточно индивидуальны для опознания и поэтому главным при выделении цикло- и ритмостратиграфических подразделений является сама ритмическая или циклическая природа толщ, выражающаяся в закономерном повторении определенных признаков.

По Н.Б. Вассоевичу, под циклом понимается единичный последовательный ряд чем-либо связанных между собой явлений. В цикле выделяются фазы, стадии, этапы. Ритмичность предусматривает равномерную, одинаковую повторяемость периодичности событий. Поэтому ритмичность можно рассматривать как частное проявление цикличности.

Для вещественного выражения цикличности предложены многочисленные термины (цикл, цикломит, циклотема, циклит, полициклит, циклокомплекс и т.д.). Из всех перечисленных терминов наиболее широко применяется «циклит», предложенный Ю.Н. Карагодиным. Стратификация осадочной толщи, построенная на циклах, будет именоваться как циклостратиграфия. Расчленение разрезов по ритмам называется ритмостратиграфией.

В терригенных породах нередко повторяются циклы, сложенные сменяющими друг друга конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами; в карбонатных - обломочными, крупнозернистыми, среднезернистыми, мелкозернистыми, шламовыми, глинистыми известняками, глинами; в соленосных - галитами, сильвинитами, карналлитами, глинами, мергелями, известняками и т.д.; в вулканогенных толщах - туфобрекчиями, обломочными, пепловыми, туфами, туфогенно-осадочными породами и т.д. Причины цикличности могут быть разными. Нередко бывает, что состав одноименных пород разных циклов, разных частей последовательности слоёв мало отличается, а палеонтологические остатки редки или отсутствуют. В этих случаях расчленение и корреляция могут осуществляться по особенностям строения циклов. Циклы могут быть полными (симметричными) (например: конгломерат - песчаник - аргиллит - алевролит - песчаник - конгломерат), либо асимметричными (например: конгломерат - песчаник - аргиллит - алевролит), содержать большее или меньшее количество элементов, иметь разную общую мощность, разные

мощности отдельных элементов цикла. Эти особенности могут быть выражены либо словесными определениями, либо простыми количественными характеристиками, либо сложными коэффициентами, отражающими соотношение отдельных элементов.

Изучение мощных угленосных толщ карбона Иллинойса и Донбасса показало, что они состоят из большого числа одинаково построенных пачек. Вскоре подобная ритмичность разного масштаба была обнаружена в самых разнообразных отложениях.

Примеры наиболее мелкой ритмичности дают озерные ленточные глины, которые сложены частым чередованием тонких опесчаненных и тонкоотмученных слоев. Два таких слоя образуют годичный цикл, отвечающий весенне-летнему обильному привносу материала (относительно грубые породы) и медленному осаждению в зимнее время (тонкоотмученные породы). Ленточные глины были первоначально открыты в четвертичных отложениях. Однако впоследствии оказалось, что подобная ритмичность встречается и в более древних толщах и образуется не только в приледниковых бассейнах. Так, подобная ритмичность описана в триасовых и пермских бассейнах Центральной Европы.

Более крупную ритмичность показывает флиш. Флишевые толщи сложены частым чередованием обычно двух-трех типов пород. Для кавказского флиша, например, наиболее характерно чередование песчаников, мергелей и глин, причем мощность каждого ритма флиша колеблется от 10 до 30 см. Н.Б. Вассоевич (1948) предложил простой и эффективный метод сопоставления разрезов флишевых толщ с помощью построения ритмограмм, поскольку, как и для ленточных глин, наиболее характерной особенностью флиша является выдержанность некоторых аномальных по мощности прослоев. Построение ритмограмм (рис. 18) сводится к выделению в разрезе ряда ритмов и затем к изображению каждого ритма со всеми его элементами, в виде горизонтального отрезка. Соединение отрезками прямой значений мощностей отдельных элементов ритма позволяет получать наглядные графики, наиболее характерные пики которых могут использоваться в качестве реперов при сопоставлении в общем монотонных и не имеющих маркирующих горизонтов разрезов.

Л.Б. Рухин (1955) разработал классификацию ритмов, основанную на положении разрезов относительно области сноса и на степени устойчивости погружения участка седиментации (рис. 19) Эта классификация включает бассейновые, паралические и лимнические ритмы, каждый из которых содержит разрезы с четко выраженными перерывами и относительно непрерывные. Основываясь на данной схеме, можно полагать, что в зависимости от устойчивости прогибания полнота и состав ритмов могут меняться. Действительно, имеются многочисленные примеры выпадения отдельных элементов ритмов или их фациальных замещений.

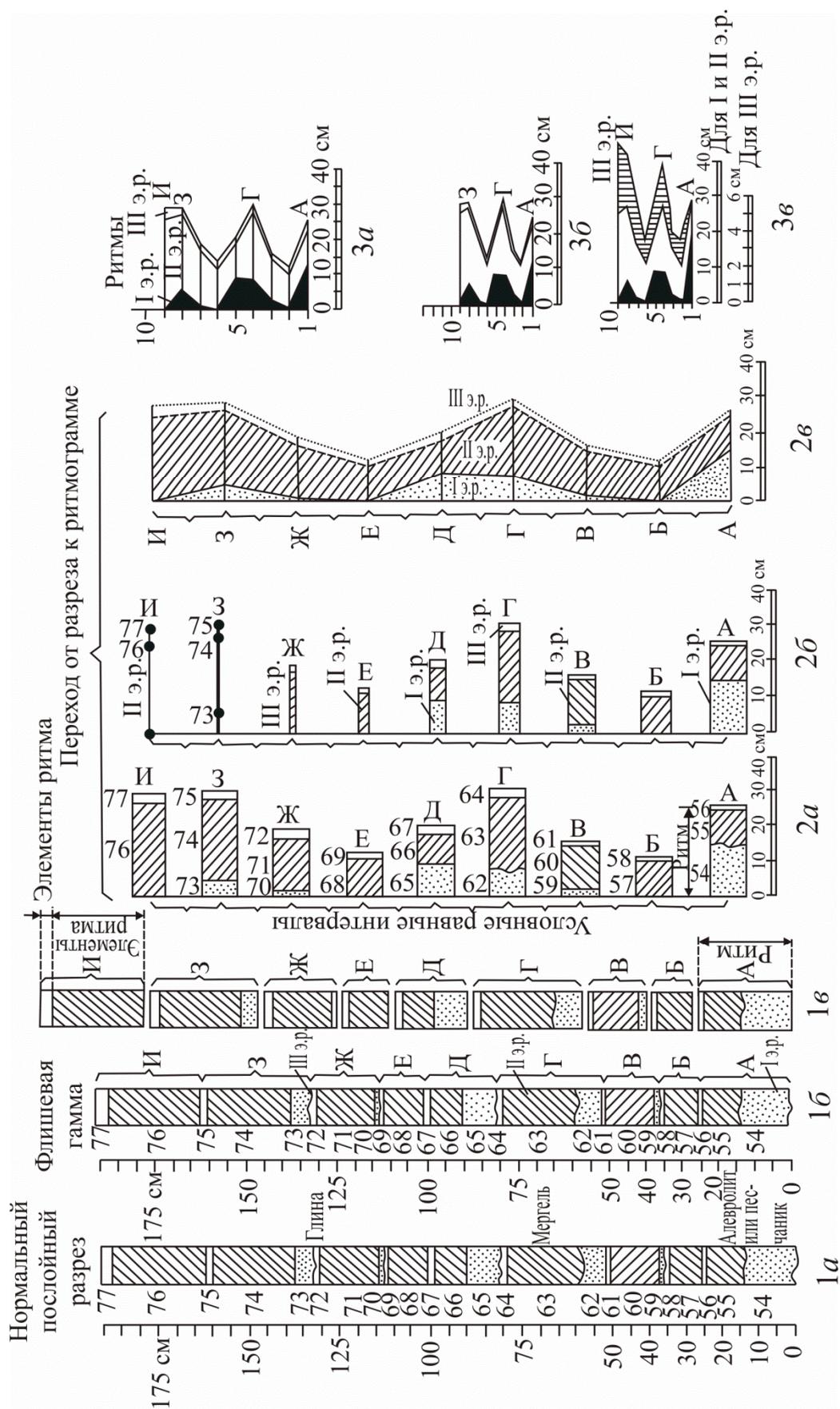


Рисунок 18 - Методы построения ритмограмм (Степанов, Месежников, 1979)

Природа ритмичности находится в тесной связи с длительностью образования и мощностью ритмов. В отношении варв все геологи единогласны в том, что их образование связано с годовыми климатическими циклами. Н.Б. Вассоевич полагал, что образование флиша связано с осцилляционными колебаниями дна бассейна седиментации, однако в настоящее время большинство геологов отдают предпочтение совместному влиянию мутьевых потоков и донных течений. Более крупные ритмы естественно связывать с комбинированным влиянием крупных поднятий и опусканий и более мелких осцилляций, хотя, не всегда такое объяснение полностью удовлетворяет исследователей.

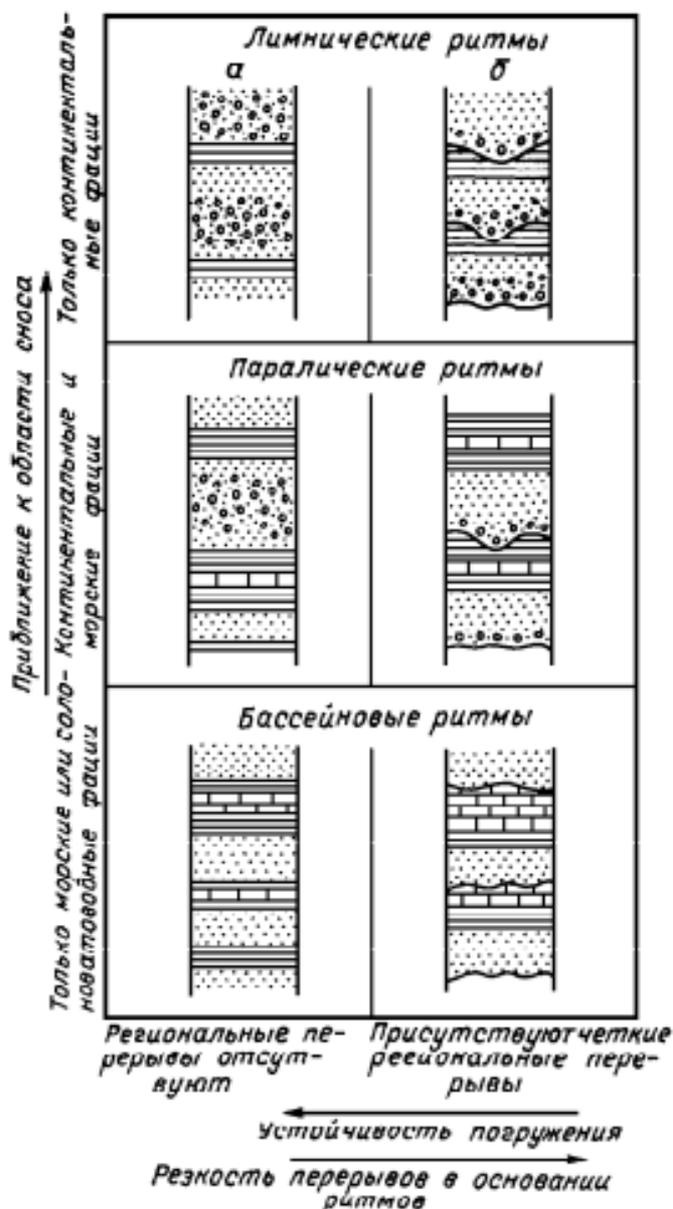


Рисунок 19 - Классификация ритмов Л.Б. Рухина (1955)

Закономерная смена пород в разрезе дает большие возможности геологам для корреляции этих разрезов. Для наиболее мелкой ритмичности типа варв и флиша наиболее надежным является сопоставление с помощью

прослеживания отдельных аномальных по своей мощности ритмов. Гораздо сложнее широкое прослеживание циклитов. Здесь на первое место выступает знание общих закономерностей цикличности.

Критерии выделения циклитов разного порядка в своей основе отличаются от критериев выделения картируемых местных стратиграфических единиц: свит, подсвит, слоёв, пачек и др. В соответствии со Стратиграфическим кодексом России (2006) все перечисленные подразделения состоят из ограниченных по разнообразию комплексов горных пород, характеризующихся определённой общностью фациального состава. Циклостратиграфический анализ предполагает разнофациальность отложений в вертикальном разрезе, которые не могут отождествляться с выше указанными картируемыми стратиграфическими единицами, выделяющимися преимущественно как однородные однофациальные породы. Только в случае наличия прибрежных мелководных осадочных пород в состав стратиграфического подразделения включаются разнофациальные отложения (угленосные формации и др.).

Порядок системы циклитов соответствует порядку циклов. Нумерация циклитов производится от наименьших единиц к более крупным (I, II, III и т. д.) или добавлением приставок (микро-, мезо-, макро-, мега-, магнациклиты). Для фанерозоя выделяется до девяти порядков. Но объёмы циклитов одного ранга для различных типов отложений существенно отличаются. Например, циклиты I порядка угленосных отложений соответствуют примерно циклитам IV порядка флишевых осадков. Наиболее чётко все порядки цикличности характерны для паралических мелководных зон бассейнов чехла платформ, краевых прогибов и межгорных впадин, где циклостратиграфический метод имеет большое значение. В пределах континентального склона и батинальной области устанавливаются лишь крупные циклы (III порядка и выше). Преимущественно крупная цикличность отмечается среди отложений горно-складчатых областей.

Циклиты I порядка (микроциклиты) представляют собой наименьшие элементарные подразделения. Это не повторяющиеся сочетания слоёв нескольких типов пород. Они могут быть симметричными или асимметричными, а по соотношению фаций регрессивными, трансгрессивными и однородными. Регрессивными называются циклиты, у которых верхняя часть формировалась в условиях более близких к континентальным, чем нижняя. У трансгрессивных - наоборот. Однородные циклиты формируются в пределах одной фации. Мощность элементарных циклитов составляет десятки сантиметров - первые метры, а в угленосных толщах 3 - 17 м, достигая иногда и первые десятки метров. Границы целесообразно проводить по чётким рубежам (перерыв, установка осадконакопления в морских карбонатных толщах, укрепление обломочного материала и т.д.) в начале регрессии или по размыву в основании аллювиальных песчаников в циклитах угленосных толщ. Элементарные циклиты иногда могут служить хорошими маркирующими горизонтами. На

десятки километров прослеживаются аномальные по мощности элементарные ритмы, например, во флишевых толщах.

Циклиты II порядка (мезоциклы) состоят из набора микроциклитов или нескольких пачек сравнительно однородных пород с определённой их изменчивостью. Границы их проводятся по четким поверхностям перерывов в основании, сопровождающимся пиритизацией, ходами сверления организмов, трещинами усыхания и т.д. В разрезах горно-складчатых областей мощность мезоциклов может составлять первые сотни метров. Выявление мезоциклов имеет большое значение для крупномасштабного картирования. Они выделяются в местных стратиграфических подразделениях в объеме подсвит, слоёв с географическими названиями. Например, в угленосных толщах выделение мезоциклов основано на чередовании в основании регрессивных, в средней части - трансгрессивных типов осадков, мощностью 30 - 40 м.

Циклиты III порядка (макроциклы) образованы рядом мезоциклов или набором однородных по внутренней структуре толщ мощностью около нескольких сотен метров на платформе и до одной тысячи метров в горно-складчатых областях. В основании макроциклов прослеживаются континентальные перерывы, в складчатых областях - фазы магматической деятельности. Местные стратиграфические подразделения выявляются в ранге свит или подсвит. Закономерное сочетание мегаметациклов устанавливается в угленосных паралических толщах межгорных впадин и мелководно-лагунных областях платформ. В разрезах морских отложений, удалённых от области сноса используются, в основном, крупные элементы макроциклов.

Циклиты IV (метациклиты), V (магнатоциклиты) порядков используются для выделения свит лишь в паралических отложениях. Для других типов отложений циклиты высокого порядка используются для выявления закономерностей геологического развития территории и для металлогенетического анализа.

Корреляция отложений по циклитам зависит от типа отложений, их положения среди фаций палеобассейна. Наиболее эффективен анализ пространственного распределения различных порядков циклитов. Широко используется для флишевых, угленосных паралических и угленосных лимнических формаций. Целесообразно применять также при изучении молассовых формаций межгорных впадин. Корреляция проводится от наиболее крупных единиц циклитов к более мелким с выделением маркирующих циклитов. Чаще всего такими являются элементарные трансгрессивные циклиты завершающих стадий циклитов высокого порядка. Следует учитывать изменчивость масштаба и количества циклитов вкост простирания фаций. Количество циклитов уменьшается с глубиной бассейна и с приближением к области сноса.

Цикличность строения разреза может быть вызвана самыми разными причинами - как космическими, так и земными (землетрясения как

запускающий механизм для образования мутьевых потоков; сильные шторма, благодаря которым образуются темпеститы; наличия региональных перерывов; фаз складчатости и метаморфизма; перерывов в осадконакоплении; резкой смены вещественного состава; смены трансгрессивной или регрессивной фаз и др.). Однако выяснение причинности явлений, вероятно, не является задачей стратиграфии, а служит предметом литологии, седиментологии, палеогеографии, тектоники, исторической геологии.

5.5. Астростратиграфический метод

В последнее время много внимания стало уделяться астростратиграфии как частному выражению циклостратиграфии. Возможно, этот термин не совсем точен, так как практически речь идет об отражении процессов, происходивших в масштабе не звёзд (гр. *astron* - звезда), а Солнца и Земли. В пределах этого направления анализу подвергаются разные циклы, которые связаны с особенностями вращения Земли вокруг своей оси и Солнца - изменениями орбитальных параметров планеты - прецессии (19-23 тысяч лет) и эксцентриситета (92-106 тысяч лет).

Теория космической цикличности, вызывающей климатические флуктуации, была впервые обоснована в работе Милютина Миланковича (1939). Вариации оси вращения Земли и элементов земной орбиты влияют на сезонное и широтное распределение солнечной радиации по поверхности нашей планеты. Это распределение контролируется вариациями следующих астрономических параметров: прецессии, наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты. Вариации эксцентриситета орбиты Земли влекут за собой изменение количества солнечной энергии. Возмущения других двух элементов приводят к широтному перераспределению солнечной радиации.

На самом деле земная ось не повернута всегда в одном и том же направлении - она медленно движется по круговому конусу. Этот эффект называется *прецессия*. На нём основано действие гироскопа. Когда гироскоп приходит в движение, он быстро вращается вокруг своей оси, при этом сама ось описывает конус. С земной осью происходит то же самое, причём период полного оборота составляет приблизительно 26 тысяч лет. Сейчас Земля наклонена так, что в январе (когда Земля находится ближе всего к Солнцу) северное полушарие, где расположена основная часть суши, отвернуто от Солнца. Через 13 тысяч лет ситуация изменится на противоположную: в январе северное полушарие будет повернуто к Солнцу, и январь станет в северном полушарии серединой лета.

В дополнение к медленной прецессии Земли незначительно колеблется и угол наклона земной оси. Эти колебания называются *нутацией* (наклонение оси вращения). Сейчас ось наклонена на 23° к плоскости земной орбиты. Каждую 41 тысячу лет под влиянием не только Луны, но и Юпитера,

являющегося далёкой, но массивной планетой, угол наклона уменьшается до 22° и затем вновь возрастает до 23° .

Из-за притяжения других планет с течением времени меняется и форма земной орбиты – *эксцентриситет*. От эллипса, вытянутого в одном направлении, форма земной орбиты превращается в круг, затем - в эллипс, вытянутый в направлении, перпендикулярном исходному, затем - снова в круг и т.д. Длительность циклов эксцентриситета Земли - 106, 410, 1290, 2030 и 3400 тысяч лет.

М. Миланкович пришел к выводу, что каждый из этих факторов влияет на количество солнечного света, полученного разными областями Земли. Например, прецессия земной оси влияет на характер зим и лет в северном полушарии. В этом полушарии земли расположена основная часть суши, и, следовательно, там находится основная часть ледников.

Он понял, что с течением времени климат Земли меняется. Если количество солнечного света, которое получает северное полушарие, уменьшается, то снег с каждым годом будет всё дольше оставаться на поверхности. А поскольку снег хорошо отражает свет, увеличившаяся снежная поверхность будет отражать больше солнечного света, и это приведёт к дальнейшему охлаждению Земли. Значит, следующей зимой выпадет ещё больше снега, ещё больше увеличится площадь снежного покрова, будет отражаться ещё больше солнечного света и т. д. С течением времени накопится много снега, и ледники двинутся на юг. Земля вступит в ледниковый период. В конце этого цикла, когда в северное полушарие начнет поступать больше солнечной энергии, произойдут обратные изменения - в некоторых местах лёд тает, обнажатся участки почвы, хорошо поглощающей свет, Земля нагреется, и всё те же три фактора изменчивости вращения Земли приведут к тому, что ледник отступит.

М. Миланкович полагал, что на климат Земли оказывают влияние эти три цикла, каждый из которых связан с определённым астрономическим эффектом. Когда они усиливают друг друга, можно ожидать похолодания и наступления ледникового периода. Однако в норме эти три фактора действуют в разных направлениях и их влияние не суммируется, так что климат быстро возвращается в обычное состояние. Итак, ледниковые периоды возникают, когда три орбитальных фактора действуют в одном направлении, их эффекты складываются и подталкивают климат Земли к похолоданию. Это явление не раз повторялось в истории нашей планеты.

За последние 3 миллиона лет было, по крайней мере, четыре периода масштабного оледенения, а до этого были и ещё. Хочу напомнить, что последний ледниковый период достиг своего максимума примерно 18 тысяч лет назад и что время, в которое мы живем, ученые определяют как межледниковое.

Длительность *циклов Миланковича* в геологическом времени постепенно изменялась; они фиксируются в осадочных породах, по крайней мере, с позднего протерозоя (с рифея). При этом в наиболее древних

отложениях, как правило, лучше всего фиксируются циклы в 400 тыс. лет. Для относительно молодых отложений (преимущественно послепалеогеновых) основной метод определения возраста границ ярусов связан с анализом циклов Миланковича в непрерывных геологических разрезах.

5.6. Тектоностратиграфические (диастрофические) методы

Один из способов стратиграфического расчленения и корреляции разрезов основан на явлении диастрофизма (результатов складчатых и колебательных движений). Идея о возможности использования для целей стратиграфии различных тектонических движений возникла в конце XIX в. Однако фактически неосознанное использование проявлений тектогенеза началось одновременно с разработкой стратиграфической шкалы, еще в первой половине XIX в. При первоначальном установлении геологических систем их границы проводились с учетом перерывов в напластовании, подчеркивавших их четкость и придававших им характер естественных рубежей. Однако только в конце XIX 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 условия осадконакопления и развитие органического мира, в конечном счете, являются производными диастрофизма. В дальнейшем, однако, эти представления подверглись существенной критике со стороны многих исследователей, квалифицировавших их как неокатастрофизм (Шатский, 1937). Выяснилось, что орогенические процессы и фазы их проявления обычно характеризуются значительной длительностью и сложностью, а взгляды Т. Чемберлина, Г. Штилле и их последователей представляют упрощение реально существующих в природе процессов и явлений.

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

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

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

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

Исходя из этих теоретических предпосылок, А. Грэбо разработал новую стратиграфическую шкалу палеозоя. В качестве границ между выделенными им системами принимался уровень, соответствующий фазе максимального развития регрессии и начала новой трансгрессии. Каждая система, естественно, делилась на два отдела. Нижний отдел соответствовал трансгрессии, а верхний - регрессии. Таким образом, каждая система

соответствовала одной пульсации, что привело к разукрупнению традиционных систем палеозоя. В качестве примера можно привести «виземюрскую» систему, в которой нижнему, трансгрессивному, отделу соответствует визейский ярус каменноугольной системы, а верхнему, регрессивному, - намюрский ярус Международной стратиграфической шкалы.

Несмотря на то что А. Грэбо попытался дать широкую аргументацию предложенной им новой шкалы палеозоя, последняя не получила признания. Тем не менее, его попытка перестройки общей стратиграфической шкалы на базе пульсационной гипотезы явилась прообразом получившего широкое распространение в стратиграфии наших дней метода циклического анализа.

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

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

В этом отношении несомненный интерес представляют результаты сравнительного анализа развития эвгеосинклинальных зон Урала и Аппалачей. Данные исследования были проведены в прошлом столетии А.В. Пейве (1973). Автор показал, что ведущим процессом развития этих складчатых систем был процесс превращения океанической коры в континентальную. При этом была установлена совершенно сходная в обеих геосинклиналях последовательность различных по характеру тектонических стадий. Однако проявление одних и тех же тектонических стадий в Аппалачах и на Урале оказалось не синхронно. Время проявления одних и

тех же тектонических стадий в Аппалачах по сравнению с Уралом «смещено вниз на один тектонический этап». Иными словами, мы имеем здесь дело с гомотаксальностью (сходством порядка последовательности) тектонических стадий в обоих сравниваемых регионах при отсутствии их подлинной синхронности.

Что касается границ тектонических этапов, то они, по данным А.В. Пейве, для Урала и Аппалачей довольно хорошо коррелируются. Последнее приводит указанного автора к важному для нас выводу о глобальной синхронности тектонических этапов развития земной коры. Однако глобальность проявления отдельных тектонических фаз, по мнению А.В. Пейве, пока не может быть доказана. Отсюда следует, что на данной стадии изученности рассматриваемой проблемы придавать глобальное значение частным проявлениям тектонических движений, например угловым несогласиям, было бы преждевременно. Однако устанавливаемая А.В. Пейве синхронность главных тектонических этапов развития земной коры на разных материках, несомненно, заслуживает большого внимания, тем более что она находит подтверждение и в других данных.

Подводя итоги, можно наметить следующие выводы.

1. Тектоностратиграфия имеет ведущее значение для стратиграфии докембрийских (криптозойских) отложений. Выделение местных подразделений в ранге «серия» основано на выявлении несогласий, фиксирующих проявления тектонических движений и интрузивный магматизм. Степень надежности использования этих методов для целей межрегиональной корреляции и периодизации докембрийских толщ не абсолютна. Но в общих грубых чертах докембрийские циклы диастрофизма считаются синхронными на всех материках, так как проявляются на огромных пространствах. При этом на границах крупных подразделений докембрия отмечается только одно угловое несогласие. А в фанерозое фиксируется несколько несогласий, отвечающих отдельным фазам одного диастрофического цикла. Диастрофические циклы докембрия имеют большую длительность, устанавливаемую радиометрическими (изотопными) методами, их можно использовать в качестве границ крупных стратиграфических подразделений.

2. Для фанерозоя тектоностратиграфия утрачивает ведущую роль, которую играла в стратиграфии докембрия. В фанерозое ритмы тектонических движений сильно учащаются по сравнению с докембрием и осложняются многочисленными дополнительными диастрофическими импульсами. Тектонические движения, даже крупного масштаба, проявляются не повсеместно, не представляют собой кратковременных эпизодов, а растянуты во времени. Это ограничивает возможность надежного использования тектоностратиграфических приемов для отдельной межрегиональной и глобальной корреляции. Для ограниченных территорий по диастрофизму можно устанавливать границы стратиграфических подразделений с большой точностью. Однако установление их

геологического возраста не может быть осуществлено только на основе диастрофизма. Необходимо в этом случае использовать литолого-стратиграфический и особенно палеонтологический методы. За последним в этих случаях сохраняется роль контролирующего метода. Важнейшим свидетельством проявления диастрофизма как складкообразующих, так и колебательных движений, зафиксированных в разрезах, служат несогласия, отражающие перерывы в осадконакоплении.

5.7. Геологические методы оценки относительного возраста

Помимо принципа суперпозиции (Н. Стенона) существуют также еще два принципа (правила) относительной геохронологии, сформулированные в XVIII в. Дж. Геттоном. Это принцип включений и принцип пересечения, позволяющие определять относительный возраст слоёв горных пород.

Принцип включений заключается в следующем: если в каком-нибудь слое находится обломок, валун, глыба какой-то другой породы, то она древнее, чем этот слой, то есть включение всегда древнее вмещающей породы. Точно также и в интрузивных образованиях и в лавовых потоках любое включение – ксенолит является более древним.

Сущность принципа пересечения заключается в том, что любое тело как магматических, так и осадочных пород, пересекающее толщу слоёв, моложе этих слоёв.

5.7.1. Определение относительного возраста магматических пород

Из-за того, что магматические породы не содержат органических остатков, их относительный возраст определяется косвенным путем исходя из взаимоотношения с осадочными породами. (В данном случае сознательно опускается возможность применения палеомагнитного и радиологического метода).

При определении относительного возраста слоистых вулканических и вулканогенно-осадочных пород применяются собственно стратиграфические принципы (принцип Н. Стенона, принцип Т. Гексли, принцип А.Г Вернера, принцип С.В. Мейена), та как 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.

Гораздо сложнее определить возраст интрузивных пород и дизъюнктивных нарушений. Интрузивные породы в большинстве случаев прорывают осадочные толщи, могут располагаться между слоями вмещающих пород 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.

5.7.2. 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, заключённые между двумя одинаковыми поверхностями несогласий, рассматриваются как одновозрастные. Это метод широко используется для выделения местных подразделений высокого ранга и особенно широко распространён 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 серьёзным ошибкам.

5.8. Геохимический метод

Этот метод основан на изучении характера распределения и миграции химических элементов в земной коре. Главное внимание уделяется выявлению в разрезах повышенных и пониженных концентраций отдельных химических элементов и границ, где происходили резкие изменения этих концентраций. При изучении литологически однородных толщ, в которых не наблюдается существенных изменений содержания химических элементов, не всегда удается расчленить разрез с достаточной степенью детальности. В этом случае определённую помощь может оказать изучение изменения связей между элементами и образуемых ими ассоциаций.

Возможность использования геохимических данных для целей стратиграфии вытекает из закономерностей поведения химических элементов и их связей, изложенных в классических трудах В.М. Гольдшмидта, В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, Н.М. Страхова и др. В частности, установлено, что для литосферы характерно закономерное повышение концентраций отдельных химических элементов в результате геохимической миграции атомов в некоторых слоях или толщах. 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 определённое положение. Изменение внешних физико-химических условий приводит к изменению миграционной способности элементов и перестройке ряда их геохимической подвижности. Ряд геохимической подвижности элементов в пределах данного геологического тела всегда отражает условия формирования этого тела. Отсюда следует принципиальная возможность выявления в разрезе на основе геохимических исследований различных по условиям формирования типов отложений и прослеживания этих отложений по латерали.

Геохимический метод в настоящее время играет вспомогательную роль в стратиграфии. Рациональность его применения должна определяться результатами предшествующих работ. Наиболее эффективен геохимический метод для расчленения и корреляции внешне однородных осадочных толщ, слабо охарактеризованных органическими остатками. Это обычно морские сульфатно-карбонатные, кремнистые, вулканогенно-кремнистые, монотонные терригенные отложения. Начинают работу с хорошо изученных опорных или типовых стратиграфических разрезов. Геохимическая характеристика всех картируемых стратонтов по типовым разрезам необходима для корреляции с ними менее изученных и неполных разрезов. Причем геохимические исследования сопровождаются характеристикой всех литологических признаков (состав, характер слоистости и т.д.). Также необходимо геохимически изучить все фациальные разновидности коррелируемых осадков. Обязательно следует обратить внимание на маркирующие геохимические горизонты даже при их фрагментарном распределении по площади. Геохимическое изучение отложений включает в себя: 1) опробование; 2) подготовку проб к аналитическим исследованиям и аналитическое определение содержания элементов в пробах; 3) математическую обработку первичной геохимической информации и интерпретацию полученных результатов.

Частота *отбора проб* соответствует требованиям, предъявляемым к документации типовых и опорных разрезов. Средняя частота отбора проб по разрезу производится через 2 - 4 м. Точки отбора проб сгущаются на участках сложного строения и разреживаются при опробовании однородных толщ. Пробы предпочтительно брать из нижних частей слоёв и из наименее выветренных пород. При необходимости пробы берут из нижней, средней и верхней части слоя. Оптимальная масса пробы обычно составляет 50 - 100 г. Опробование сопровождается взятием образцов и сколков на шлифы для последующего изучения минерального состава породы, степени и характера

её изменения. Из каждого выделенного стратиграфического подразделения отбирается не менее 30 проб. В противном случае надёжность получаемых результатов резко снижается.

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

Для *аналитического определения* содержания элементов в породах и минералах наиболее широко используются различные полуколичественные и количественные методы эмиссионного и рентгеноспектрального анализов. В последнее время всё более широкое применение находит и количественный атомно-абсорбционный анализ некоторых элементов (К, Na, Pb, Ca, Mg, Sr и др.). Полученную этими методами первичную геохимическую информацию рекомендуется регистрировать на магнитном носителе и статистически обрабатывать по унифицированным программам с использованием компьютеров.

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

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

могут быть использованы для обоснования и корреляции картируемых стратиграфических подразделений.

Из всего выше сказанного, представляется, что геохимический метод в стратиграфии весьма перспективен в ряде случаев, особенно для «закрытых территорий». Он может стать одним из ведущих, прежде всего, при местных и региональных исследованиях. Вместе с тем это не полевой метод, и для его использования необходимы серьезная, дорогостоящая лабораторная база и время для проведения аналитических работ.

5.9. Хемостратиграфический метод

Хемостратиграфический метод - новое направление, которое нацелено на решение стратиграфических задач с помощью геохимических показателей, отражающих в геологическом времени определенные изменения условий регионального и глобального характера. Использование данного метода основано на колебаниях числа стабильных изотопов у различных химических элементов. При этом химические свойства изотопов идентичны. Стабильные изотопы, в отличие от радиоактивных, не могут самопроизвольно переходить в изотопы других элементов. Содержание стабильных изотопов различных элементов в морской воде и осадке неравновесно и зависит от многих факторов. В ходе естественных природных процессов происходит фракционирование, то есть разделение изотопов. Как правило, большинство морских организмов накапливают изотопы в равновесии с окружающей средой, и, анализируя их скелетные образования, можно узнать изотопный состав морской воды.

Ниже рассмотрим стабильные изотопы трёх химических элементов, часто используемых геологами, руководствуясь учебным пособием С.О. Зориной по хемостратиграфии (Зорина, 2016).

Для стратиграфии и анализа факторов окружающей среды используются в первую очередь соотношения стабильных изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, стронция $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$, реже - серы $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. Содержание изотопов в образцах определяется методами масс-спектрометрии (точность $\sim \pm 0,1\%$); при этом масс-спектрометр различает не абсолютное число тех или иных изотопов, а отклонение изотопного состава образца от стандарта.

Соотношения стабильных изотопов по отношению к стандарту выражаются в промилле (‰). Для обозначения этого отношения используется величина δ (дельта).

В качестве стандарта при исследовании стабильных изотопов по соглашению между исследователями обычно выбирается какой-либо природный объект (порода, вода и др.), количество которого весьма значительно и который детально исследован в разных лабораториях (Маслов, 2005).

Разделение изотопов (изотопное фракционирование) в природе может иметь место при изотопных реакциях обмена, где оно контролируется силой химических связей (более легкие изотопы обладают менее сильными связями по сравнению с тяжелыми), в различных кинетических, а также физико-химических процессах (например, при эвапоритизации, кристаллизации, диффузии и др.) (Маслов. 2005).

5.9.1. Стабильные изотопы кислорода

У кислорода известно три стабильных изотопа: ^{16}O (99.76%), ^{17}O (0.04%), ^{18}O (0.2%). При исследовании низкотемпературных процессов используется стандарт PDB1 (ростр белемнита *Belemnitella americana* (Morton) (верхний мел, верхний маастрихт, формация Пиди, США, Южная Каролина); в других случаях используется стандарт SMOW (средний состав морской воды), в котором отношение изотопов кислорода и водорода соответствует расчетному составу морской воды. Оба стандарта связаны следующим соотношением: PDB1 = +30,6‰ SMOW.

В стратиграфии часто используется изотопное соотношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, которое определяется следующим образом:

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{образца}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{стандарта}}} - 1 \right] \times 1000 \text{ (в ‰)}.$$

Если $\delta^{18}\text{O} = +10$, то это означает, что образец обогащен изотопом ^{18}O по отношению к стандарту на 10 ‰, или на 1 %.

Экспериментальным путем установлено следующие константы равновесия $K_{0^\circ\text{C}} = 1,0176$; $K_{25^\circ\text{C}} = 1,0138$.

Таким образом, изучение изотопного состава кислорода природных объектов дает возможность оценить температуру образования минералов, а также реконструировать тип растворов, из которых они кристаллизовались (Маслов, 2005).

Факторы, влияющие на соотношение изотопов кислорода следующие:

- 1) температура (с повышением температуры возрастает доля ^{16}O);
- 2) солёность (с понижением солёности возрастает доля ^{16}O);
- 3) Фотосинтезирующие организмы (в основном они усваивают также более легкий изотоп ^{16}O). Поэтому, к примеру, у кораллов, которые часто содержат симбиотические фотосинтезирующие водоросли, изотопы кислорода накапливаются не в равновесии с окружающей средой.

5.9.2. Определение изотопного состава и его зависимость от факторов среды

Изотопный состав определяется по фораминиферам, наннопланктону, белемнитам, аммонитам, брахиоподам, двустворкам, горным породам. Возможность использования стабильных изотопов исходит из некоторых предположений:

1) отсутствие специфического для отдельных видов жизненного эффекта (вливают симбиотические водоросли, присутствующие у некоторых фораминифер и кораллов, особенности образа жизни организмов и характер роста, например, круглогодичный или сезонный);

2) известный изотопный состав воды (испаряется в основном более легкий изотоп (то же – для углерода, но для него сильнее влияние организмов). Пресная вода обогащена ^{16}O . Для плио-плейстоценового оледенения изменения $\delta^{18}\text{O}$ в морской воде отражает главным образом изменение объёма воды и уровня моря (из-за ледников), а не температуры: тренды изменения изотопного состава в раковинках планктонных и бентосных фораминифер одинаковы;

3) отсутствие диагенетических изменений в образце пород и фоссилий (вероятнее для раковин организмов, чем для матрикса). Для морских и пресных вод хорошо известны содержания микроэлементов, а именно, значения равновесия Mn, Fe, Mg, Sr. Концентрации Mn, Fe, Mg увеличиваются в морских карбонатах, промытых пресными водами, а Sr – уменьшаются;

4) наличие изотопного равновесия между отложившимся карбонатом и водой;

5) отсутствие эффекта изменения глубины обитания или плотности воды.

5.9.3. Стабильные изотопы углерода

Углерод имеет два стабильных изотопа - ^{12}C и ^{13}C . Содержание этих изотопов в природном углероде равно соответственно 98,93 % и 1,07 %. Известны также 13 радиоактивных изотопов углерода (от ^8C до ^{22}C), из которых один - ^{14}C встречается в природе (его содержание в атмосферном углероде около 10^{-12}). Углерод – это лёгкий химический элемент, и его изотопы значительно различаются по массе, а значит и по физическим свойствам, поэтому во многих природных процессах происходит их фракционирование.

В природе разделение изотопов углерода интенсивно происходит при относительно низких температурах. Растения при фотосинтезе избирательно поглощают лёгкий изотоп углерода. Степень фракционирования зависит от биохимического механизма связывания углерода. Большинство растений интенсивно накапливают ^{12}C , и относительное содержание этого изотопа в их составе на 15–25 ‰ выше, чем в атмосфере. В то же время злаковые растения, наиболее распространённые в степных ландшафтах, слабо обогащены ^{12}C и отклоняются от состава атмосферы лишь на 3–8 ‰. Фракционирование изотопов углерода происходит при растворении CO_2 в воде и его испарении, кристаллизации и т. п.

В качестве стандарта при расчетах изотопного фракционирования углерода принят также стандарт PDB (следовательно, в морской воде $\delta^{13}\text{C} =$

0); величина $\delta^{13}\text{C}$ рассчитывается так же, как и для кислорода. Вариации изотопных отношений углерода в природных образованиях показаны на рисунке 20.

Величина $\delta^{13}\text{C}$ в метеоритах варьирует от -25 до 0 ‰. Для пород мантийного происхождения (карбонаты, кимберлиты, алмазы) величина $\delta^{13}\text{C}$ составляет от -3 до -8 ‰. В карбонатных породах морского происхождения вариации величины $\delta^{13}\text{C}$ не превышают -2 ± 1 ‰. Углерод органического происхождения обеднён изотопом ^{13}C (следовательно, его можно рассматривать как «изотопно легкий»). Органическое вещество современных осадков характеризуется значениями $\delta^{13}\text{C}$, варьирующими от -10 до -30 ‰ (преобладают значения от -20 до -27 ‰).

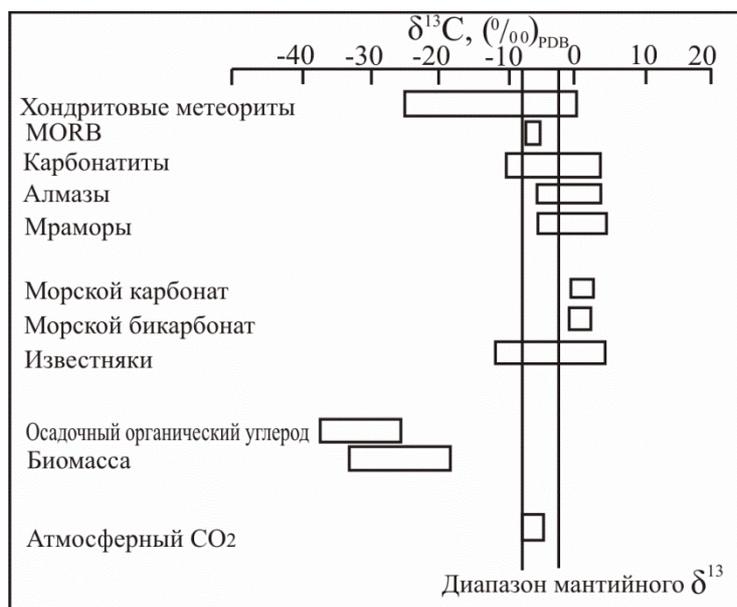


Рисунок 20 - Вариации $\delta^{13}\text{C}$ в разных типах пород и вод (по Г. Роллинсону, заимствовано из Маслов, 2005)

Анализ изотопного состава углерода даёт возможность реконструировать обстановки накопления карбонатных образований. Так, положительные величины $\delta^{13}\text{C}$ указывают в общем случае на окислительные условия, отрицательные величины, соответственно, на восстановительные условия. В совокупности с данными по изотопам кислорода изотопный состав углерода может быть использован для определения типа бассейна осадконакопления - морской, лагунный, пресноводный (Маслов, 2005).

В настоящее время установлено, что по использованию изотопного состава углерода карбонатных отложений можно судить о составе океанической воды и проводить на этой основе сопоставление карбонатных осадочных последовательностей различных регионов Земли (Маслов, 2005). Известно, что накопление карбонатных отложений в современных и древних морских бассейнах происходит за счет биогенного или прямого осаждения из морской воды.

Исследования современных осадков показали, что основные минералы

карбонатных пород - низкомагнезиальный кальцит и доломит - являются продуктами преобразования первичных метастабильных фаз - высокомагнезиального кальцита, арагонита и протодоломита (Маслов, 2005).

Карбонатные породы относительно легко подвергаются эпигенетическим преобразованиям (механическому и химическому уплотнению, цементации и децементации, частичной или полной перекристаллизации) под влиянием захоронённых или метеорных флюидов. В связи с этим для оценки степени сохранности первичных изотопных систем кислорода, углерода и стронция в карбонатных породах используется ряд специальных геохимических параметров, таких, как Mn/Sr, Fe/Sr, и взаимосвязь величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ (изотопная система кислорода является весьма чувствительным индикатором эпигенетического преобразования карбонатных пород) (Маслов, 2005).

5.9.4. Стабильные изотопы стронция

У стронция известны два стабильных изотопа ^{86}Sr и ^{87}Sr . Соотношение $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ в гранитах зависит от происхождения: из мантии $\sim 0,703$, из дифференцированной континентальной коры $\sim 0,720$.

Соотношение изотопов стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отражает баланс между континентальным стронцием и мантийным, в континентальных породах соотношение выше.

В фанерозое изотопный состав стронция контролировался эрозией и скоростью спрединга.

5.9.5. Применение стабильных изотопов в стратиграфии

Стратиграфическая корреляция, а иногда и привязка к шкале опираются на существующие модели указанных изменений изотопного состава вышеназванных элементов. Эти модели пока несовершенны и неполны. Сейчас в их формате идет разработка соответствующих эталонных кривых на основе изучения опорных разрезов. Непременной и весьма трудоемкой частью исследований является тестирование материала изучаемых разрезов на пригодность.

Так, например, в фанерозое с помощью стабильных изотопов можно коррелировать в первую очередь или плохо сопоставляющиеся биостратиграфически (палеонтологически) интервалы или уровни с уникальными событиями:

1. Раннетоарское Океанское аноксидное событие (широко прослеживаемый уровень по всему Земному шару).

2. Корреляция бореального и тетического валанжина.

3. Резкие климатические и палеобиогеографические изменения на границе средней и поздней юры Северного полушария. Резкое падение уровня моря в конце келловоя сопровождалось сдвигом границы надобластей

Тетис-Панталасса и Панбореальной на юг и уменьшением температурного градиента. В это время бореальные аммониты проникли на юг вплоть до севера Африки и, видимо, почти одновременно многие субтетические аммониты достигли бассейна Печоры. Доказательства климатической природы изменений на границе средней и поздней юры были недавно получены на основании изучения разрезов Европейской части России.

4. Первоначально изменения изотопов углерода и кислорода в плейстоцене связывались с изменениями температуры. Однако совпадение трендов по бентосным и планктонным фораминиферам позволяет предполагать, что важным фактором изменения изотопного состава раковин фораминифер были колебания уровня моря и его солёности.

5.10. Импактно-стратиграфический метод

Данный метод основан на выявлении в отдельных слоях скоплений химических элементов платиновой группы или платиноидов (например, иридия), а также тектитов и других образований, которые связываются с падением на Землю небесных тел (прежде всего метеоритов) в отдельные моменты прошлого. Но количество таких слоёв постоянно растёт, и они из-за этого теряют свою стратиграфическую уникальность как реперов. А, вместе с тем, происхождение иридиевых аномалий многие соотносят не с небесными явлениями, а с земным вулканизмом. Шкалы, строящиеся на импактной основе, не могут быть корректными, если они не привязаны к геохронологической основе.

5.11. Геохронометрические методы

Геохронометрические методы приобрели заметное место в геологических, в том числе стратиграфических, исследованиях. Они позволяют устанавливать в стандартных единицах физического времени (в годах) удалённость образования геологических объектов от современности, или продолжительность их существования, либо скорости и длительности геологических процессов. Для определения, так называемого абсолютного возраста (устаревший термин), применяются изотопные, или радиологические (радиометрические) методы, радиационные дозиметрические методы и нерадиологические методы.

5.11.1. Изотопные методы

Изотопные методы основаны на особенности радиоактивных химических элементов, входящих в состав многих минералов, трансформироваться в их стабильные изотопы с постоянной скоростью, свойственной каждому элементу. Устанавливая соотношение мобильных и стабильных изотопов в анализируемой пробе, можно определить в единицах

астрономического времени удалённость образования радиоактивного элемента и, соответственно, возраст породы, в строении которой принимает участие содержащий его минерал.

Определение возраста горных пород явилось первым практическим применением процесса радиоактивного распада, открытого в 1896 г. французским физиком А. Беккерелем. В 1902 г. П. Кюри высказал мысль о возможности применения радиоактивного распада химических элементов в качестве меры геологического времени, а в 1904 г. Э. Резерфорд и Б. Болтвуд доказали постоянство отношений U/Ra и U/Th в земных телах. Так наука в самом начале XX в. подошла к созданию часов, основанных на естественных радиоактивных превращениях. Затем исследования американского геолога А. Холмса заложили основу методики определения геологического возраста пород по изотопам и позволили впервые определить продолжительности стратиграфических подразделений.

В настоящее время изотопные методы основаны на распаде тех радиоактивных элементов, которые преобладают в земной коре. Из приблизительно 1600 природных и искусственных изотопов стабильны только 272 (Афанасьев, 1987). Для определения возраста используются долгоживущие радиоактивные изотопы. Применение этих методов корректно лишь при двух допущениях: 1) скорость радиоактивного распада должна быть неизменной в течение всей геологической истории, что подтверждается современными исследованиями; 2) все устойчивые изотопы образовались в анализируемом минерале только за счёт распада исходных радиоактивных 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.

Изотопные методы особенно большое значение имеют в стратиграфии докембрийских отложений, для которых ограничены возможности использования палеонтологического (биостратиграфического) метода.

В стратиграфии фанерозоя изотопные методы используются для датирования осадочных пород, но, прежде всего, они применяются для определения возраста магматических и метаморфических образований. В настоящее время получены изотопные даты практически для всех ярусов фанерозоя и эратем докембрия (Стратиграфический кодекс России, 2006).

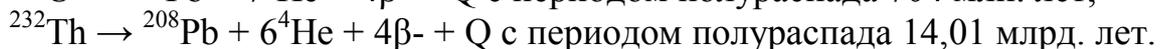
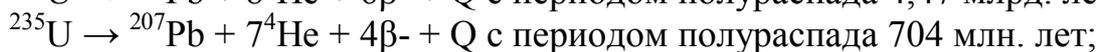
Изотопный возраст стратиграфических подразделений устанавливается в годах (тысячах, миллионах или миллиардах лет) от настоящего времени, за которое принят 1950 г., что имеет значение для голоценовых датировок.

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

Наиболее применимые в геологической практике методы изотопного определения возраста следующие.

Урановый метод. Данный метод основан на изучении содержания радиоактивного урана в гранитном слое и осадочных породах. Например, период полураспада ^{238}U равен $4,5 \cdot 10^9$ лет, а ^{235}U соответствует $7,04 \cdot 10^8$ лет. В ходе геологической истории содержание урана уменьшилось за счёт радиоактивного распада; с этим процессом связано накопление в земной коре свинца, гелия. Так, в породе, первоначально содержащей 1 кг урана, через 4 млрд лет накапливается 400 г свинца и 60 г гелия, а урана остаётся только 0,5 кг. По соотношению $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (один из неравновесных уран-урановый метод) возможно датирование морских осадков возрастом до 1,5 млн лет. Здесь период полураспада ^{234}U равен 248 тыс. лет. Радиоактивный распад урана играет важную роль в энергетике земной коры, являясь существенным источником глубинного тепла.

Уран-торий-свинцовый метод. Это один из самых хорошо разработанных способов радиоизотопного датирования, использующий накопление радиогенных изотопов свинца ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb при естественном радиоактивном распаде ^{238}U , ^{235}U и ^{232}Th . Используются следующие превращения изотопов:



Значения возраста рассчитываются по соотношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$. Благодаря значительной разнице в скоростях распада ^{238}U и ^{235}U и ввиду постоянства изотопного отношения современного природного урана в подавляющем большинстве геологических объектов ($^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=137,88$), имеется возможность вычислять значение возраста и по соотношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Точность датирования этого метода порядка 0,1 %.

Таким образом, применяя уран-торий-свинцовый метод значение возраста исследуемого образца можно вычислить по четырём изотопным отношениям, три из которых являются независимыми. Это является большим преимуществом уран-торий-свинцового метода по сравнению с другими изотопными методами, так как позволяет оценить степень надёжности получаемых значений возраста. Совпадение значений, вычисленных по различным изотопным отношениям, свидетельствует о получении достоверного возраста, так как все эти отношения связаны с различными рядами радиоактивного распада, различными промежуточными продуктами и их концентрациями, и, следовательно, соответствие между ними является веским доказательством хорошей сохранности образца и надёжности вычисленного значения возраста. Следует отметить, что в настоящее время ториевый ряд распада в силу методических сложностей используется значительно реже урановых.

Наиболее широко для целей определения возраста во всём диапазоне геологического времени используются акцессорные урансодержащие

минералы: монацит, циркон, сфен, ортит, пирохлор, апатит, а в последнее время бадделеит и перовскит (при датировании основных и ультраосновных пород).

Основным минералом при уран-свинцовом датировании является циркон. Циркон встречается практически во всех магматических, осадочных и метаморфических породах его структура прочна и устойчива к преобразованиям, кроме того, при наложенных процессах циркон часто регенерируется, обрастая дополнительными периферическими зонами. Таким образом, исследуя структуру циркона, мы почти всегда наблюдаем не однородные кристаллы, а зональные. Здесь необходимо применение локального уран-торий-свинцового метода, который позволяет датировать отдельные генерации роста в единичном кристалле. Большую проблему представляет, в частности, возможное нахождение в цирконах, особенно из фанерозойских пород, ксеногенной составляющей (например, в виде более древних ядер и реликтовых зёрен), несущей более древний радиогенный свинец, а также нахождение микровключений минералов, имеющих более высокие содержания урана и тория, чем включающий их циркон. Всё сказанное определяет необходимость разностороннего прецизионного исследования индивидов циркона, используемых для получения геохронометрической информации. Наиболее достоверными результатами датировок могут считаться совпадающие (конкордантные) значения.

Калий-аргоновый метод основан на распаде радиоактивного изотопа калия ^{40}K , при котором около 12 % этого изотопа превращаются в аргон ^{40}Ar с периодом полураспада 1,3 млрд. лет. Постоянная радиоактивного распада $\lambda_K = 0,0557$ млрд. лет $^{-1}$. Остальные 88 % калия переходят в ^{40}K с более высокой скоростью (постоянная радиоактивного распада $\lambda_\beta = 0,472$). Кроме того, при второй реакции с испусканием β -частиц из ^{40}K образуется ^{40}Ca . Исходное уравнение для расчета возраста имеет следующий вид:

$$\frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} = \frac{\lambda_K}{\lambda_K + \lambda_\beta} \cdot (e^{(\lambda_K + \lambda_\beta)t} - 1)$$

И соответственно его решение:

$$t = \frac{1}{\lambda_\beta + \lambda_K} \ln \left(\frac{\lambda_\beta + \lambda_K}{\lambda_K} \cdot \frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} + 1 \right)$$

Как показали многочисленные экспериментальные исследования, калиевые минералы сравнительно легко теряют радиогенный аргон. В меньшей степени это относится к слюдам и в значительной мере к полевым шпатам, что делает их мало пригодными для определения возраста. Важным достоинством калий-аргонового метода является возможность применения его для определения возраста не только магматических, но и осадочных пород по минералу глаукониту, аутигенному минералу (аутигенными, в отличие от терригенных, принято называть минералы осадочных пород, которые формируются (растут) в процессе накопления, диагенеза и литификации

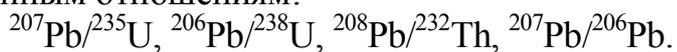
осадка), образуящемуся в мелководно-морских условиях. Опыт определения возраста неизмененных глауконитов как молодого (мезозойско-кайнозойского), так и более древнего возраста показал, что глауконит хорошо удерживает аргон и калий вне зависимости от времени. Несмотря на свою сравнительно малую устойчивость, этот минерал удобен тем, что даже при небольших изменениях, ставящих под сомнение пригодность данного образца для калий-аргонового датирования, он сразу же обнаруживает изменение окраски и химического состава.

Аргон-аргоновый метод. В этом методе используется преобразование ^{40}K в радиоактивный ^{40}Ar . Он применяется главным образом для датирования вулканических (как эффузивных, так и интрузивных) пород. Аргон-аргоновый метод был предложен в 1960-е годы специалистами Калифорнийского университета в Беркли как модификация калий-аргонового метода. Он основан на том, что распространённый в природе изотоп ^{40}K распадается на ^{40}Ar и ^{40}Ca с периодом полураспада 1,25 миллиарда лет. Чтобы выявить соотношение изотопов ^{40}K и ^{40}Ar в аргон-аргоновом методе, образец подвергают нейтронной бомбардировке. ^{39}K при этом преобразуется в ^{39}Ar , имеющий период полураспада 269 лет и в природе практически не встречающийся. Соотношение $^{39}\text{K}/^{40}\text{K}$ в природных образцах постоянно, поэтому соотношение $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, полученное с помощью масс-спектрометра, позволяет, собственно, установить возраст образца. Благодаря очень большим концентрациям калия во многих земных минералах и длительному периоду полураспада, калий-аргоновый и аргон-аргоновый методы позволяют определять возраст горных пород в самом широком диапазоне - от тысяч до миллиардов лет. Преимуществом аргон-аргонового метода является то, что он позволяет контролировать степень сохранности калий-аргоновой изотопной системы в датированном образце и, таким образом, даёт внутренний контроль надёжности датировки. Кроме того, для аргон-аргонового метода требуется очень мало датированного материала, что позволяет анализировать единичные минеральные зёрна. Однако этот метод всегда отличался систематическими ошибками, связанными как с неточностью трудно определяемых констант радиоактивного распада ^{40}K , так и с использованием различных мониторов нейтронного потока (минералов с уже известным калий-аргоновым возрастом) для конвертации ^{39}Ar в ^{39}K при расчёте возраста.

Главное преимущество аргон-аргонового метода перед классическим калий-аргоновым - локальность анализа вплоть до микронных точек. Однако для определения возраста пород аргон-аргоновым методом необходим хорошо аттестованный стандарт (минерал или минералы известного возраста).

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

пробу образцы, взятые из разных штучков. Для анализа отквартовывают 300 - 500 г породы. Погрешность анализа $\pm 5\%$. Возраст вычисляют по четырём изотопным отношениям:



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

Гелиевый метод. Основан на определении содержания гелия в радиоактивных минералах. На Земле изотоп гелия ^4He постоянно продуцируется 29 радиоактивными изотопами (преимущественно при распаде урана, тория). Около половины всего гелия сосредоточено в гранитной оболочке земной коры, аккумулировавшей основные запасы радиоактивных элементов. Максимальные концентрации гелия (10 - 13 %) выявлены в свободных газовых скоплениях и газах урановых рудников и (до 25 %) в газах, спонтанно выделяющихся из подземных вод. Чем древнее возраст газоносных осадочных пород и чем выше в них содержание радиоактивных элементов, тем больше гелия в составе природных газов. Вулканическим газам обычно свойственно низкое содержание гелия.

Рубидий-стронциевый метод. Данный метод основан на радиоактивном распаде ^{87}Rb и превращении его в ^{87}Sr . Сложность его применения связана с тем, что в районах с высоким общим содержанием рубидия последний может быть привнесён в минералы значительно позже времени их образования, в результате чего при определении возраста этих минералов возможны сильные искажения в сторону «омоложения»; наоборот, в районах с интенсивным щелочным метасоматозом рубидий легко выносится из минералов и тогда значение возраста по $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$ становится сильно преувеличенным. Обычно при измерении возраста по $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$ из гранита выделяют составляющие его минералы и в каждом из них определяют $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$. На диаграмме в координатах $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ данные анализов отдельных минералов гранита располагаются на одной прямой - изохроне, вытянутой вправо вверх. Тангенс угла наклона изохроны с осью абсцисс представляет собой величину $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$, определяющую возраст данной породы.

Различные минералы в одних и тех же геологических обстановках могут иметь различное соотношение изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Если эти минералы кристаллизовались из одного и того же расплава, изначально в каждом минерале соотношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ соответствует таковому расплава, однако, поскольку рубидий замещает калий в минералах, имеющие разные отношения калия к кальцию, то и отношения рубидия к стронцию тоже получаются различными.

Основные содержащие стронций минералы, используемые для рубидий-стронциевого метода – полевые шпаты, роговая обманка, биотит и мусковит.

Стронциевый метод. В природе встречаются два изотопа рубидия – ^{85}Rb (72,15 %) ^{87}Rb (27,85 %). Стронций состоит из смеси четырёх изотопов с массовыми числами 84 (0,56 %), 86 (9,86 %), 87 (7,02 %) и 88 (82,56 %). Из них продуктом распада рубидия является ^{87}Sr , которого за всю историю Земли накопилось немногим более 7 %. При расчете возраста по стронциевому методу обычно применяются постоянные: $\lambda = 1,47 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ и $T = 4,7 \cdot 10^{10} \text{ лет}$. Реакция распада ^{87}Rb имеет вид $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$. Абсолютный возраст определяют сравнением соотношений содержаний этих изотопов с содержанием эталона не радиогенного происхождения. В качестве такого эталона принят ^{86}Sr ; тогда $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) (e^{\lambda t} - 1)$. Значения соотношений изотопов стронция для пород разного возраста приведены в таблице 1. Стронциевый метод широко применяется для оценки абсолютного возраста изверженных магматических пород, а также осадочных пород – известняков.

Таблица 1 – Значения соотношений изотопов стронция для пород разного возраста

Образец	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Возраст, млрд лет
Метеориты	0,698	4,5
Известняк Булавайо (Зимбабве)	0,700	3,0
Современные океанические донные осадки	0,708	0

Самарий-неодимовый метод. Самарий и неодим - редкоземельные элементы, встречающиеся во многих породообразующих силикатных, фосфатных и карбонатных минералах. Один из изотопов самария ^{147}Sm радиоактивен и распадается путём испускания α -частицы с образованием стабильного изотопа неодима ^{147}Nd . Хотя период полураспада ^{147}Sm очень велик (около 106 млрд. лет), эта схема распада применима для датирования земных пород, каменных метеоритов и лунных пород. Кроме того, совместное рассмотрение увеличения содержания радиогенных ^{143}Nd и ^{87}Sr даёт возможность уточнить геохимическую эволюцию планетарных объектов и генезис магматических пород.

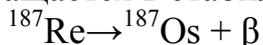
Анализируя изотопный состав неодима, было установлено, что в древнейших (архейских) земных изверженных породах он близок к таковому в хондритах - наиболее распространённых каменных метеоритах. Считается, что хондритовые метеориты представляют собой наиболее ранний, не сортированный материал, образовавшийся в Солнечной системе ещё до появления планет.

Самарий-неодимовый метод лучше всего подходит для датирования основных и ультраосновных пород.

Рений-осмиевый метод. Рений - рассеянный элемент и как примесь встречается почти во всех минералах других элементов. Наибольшая его

концентрация наблюдается в молибдените MoS_2 - от нескольких миллионных долей до 1,88%.

Рений имеет два природных изотопа ^{185}Re и ^{187}Re . ^{187}Re радиоактивен и превращается в стабильный ^{187}Os путём эмиссии β -частицы.



Первоначально β -распад ^{187}Re в ^{187}Os использовался для датирования железных метеоритов, богатых минералами, содержащими осмий. Позднее данный метод стали применять для датирования сульфидных минералов Mo и Cu , а также богатых Os минералов, таких, как осмистый иридий и лаурит $\text{Ru}(\text{Os}, \text{Ir})\text{S}_2$. Применение рений-осмиевого метода датирования долгое время было затруднено из-за отсутствия точных данных о периоде полураспада ^{187}Re и наличия ряда аналитических проблем, обусловленных низкой концентрацией Os в силикатных минералах. В настоящее время период полураспада рения определён в $4,56 \cdot 10^{10}$.

В последние годы рений-осмиевый метод стал активно применяться для датирования богатых органикой сланцев.

Лютеций-гафниевый метод. Лютеций имеет два природных изотопа ^{175}Lu и ^{176}Lu с распространённостями соответственно 97,4% и 2,6%, из которых ^{176}Lu радиоактивен. Период полураспада ^{176}Lu определялся экспериментально прямым счетом частиц и косвенно путем анализа лютеций-содержащих минералов известного возраста. Недавние прямые определения показали, что период полураспада ^{176}Lu составляет $3,53 \cdot 10^{10}$ лет.

Лютеций присутствует фактически в породах всех типов в концентрациях, редко превышающих $0,5 \text{ млн}^{-1}$. Несколько довольно обычных минералов, таких, как апатит, гранат и монацит, могут быть пригодными для датирования лютеций-гафниевым методом.

Гафний имеет шесть природных изотопов, распространённости в природе которых составляют приблизительно: $^{174}\text{Hf} = 0,162 \%$, $^{176}\text{Hf} = 5,206 \%$, $^{177}\text{Hf} = 18,606 \%$, $^{178}\text{Hf} = 27,297 \%$, $^{179}\text{Hf} = 13,629 \%$ и $^{180}\text{Hf} = 35,100 \%$. Благодаря распаду ^{176}Lu распространённость ^{176}Hf в лютеций-содержащих породах и минералах возрастает как функция времени. Чтобы датировать образец лютеций-гафниевым методом, необходимо измерить концентрации Lu и Hf и отношение $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Распад ^{176}Lu с образованием стабильного ^{176}Hf можно использовать для датирования пород и изучения истории геохимической дифференциации источников магмы в мантии. По нескольким причинам этот новый геохронометр в настоящее время имеет мало преимуществ по сравнению с самарий-неодимовым и рубидий-стронциевым методами:

- 1) аналитическая методика сложна;
- 2) интервал отношений Lu/Hf в обычных породах ограничен;
- 3) гафний содержится главным образом в цирконе и других акцессорных минералах, распределение которых в породе неравномерно и влечёт за собой неомогенность даже при измельчении породы в порошок;

4) изохронные датировки поэтому не столь точны, как датировки, полученные другими методами.

Уран-ксеноновый метод метод изотопного датирования, основан на явлении спонтанного деления изотопа ^{238}U . При этом мерой возраста служит соотношение атомных концентраций стабильных изотопов ксенона - продуктов спонтанного деления и ^{238}U . Возможны два варианта датирования. В первом возраст определяется непосредственно по соотношению Xe/U . В одной аликвоте образца измеряется содержание урана, в другой – содержание ксенона. Для определения последнего применяется метод изотопного разбавления с индикатором ^{128}Xe или ^{126}Xe , ^{124}Xe . Однако большинство минералов, за исключением монацита и бадделеита, в течение их геологической истории обычно теряют часть радиогенного ксенона. В силу этого более надёжен нейтронно-индукционный вариант уран-ксенонового метода (Xe_s/Xe_n -метод), основанный на определении соотношения ксенона спонтанного деления ^{238}U (Xe_s) и ксенона нейтронно-индуцированного деления ^{235}U (Xe_n) в исследуемом образце и в облучённом тепловыми нейтронами вместе с ним минерале-мониторе известного возраста. Концентрация Xe_n представляет собой меру концентрации ^{238}U , а соотношение Xe/Xe_n – меру возраста объекта. При этом в ходе ступенчатого отжига при низких температурах выделяется ксенон из нарушенных участков структуры, утративших часть радиогенного ксенона в ходе вторичных преобразований минерала. Соотношение Xe_s/Xe_n и рассчитанный (кажущийся) возраст в соответствующих фракциях газа низки. При высоких температурах ксенон выделяется из участков, полностью сохранивших радиогенный ксенон. Соотношение Xe_s/Xe_n и рассчитанный возраст перестают зависеть от температуры выделения ксенона и, как правило, отвечают истинному возрасту минерала. Таким образом, метод позволяет датировать минералы, утратившие часть радиогенного компонента.

Метод треков осколочного деления. В основе этого метода лежит спонтанное деление урана. При таком делении ядро изотопов ^{238}U и ^{235}U расщепляется на два неравных осколка, которые оставляют вдоль своего пути зоны радиационных повреждений. Обе зоны формируют так называемый прямой трек деления (трек – след, который оставляет в веществе заряжённая частица). Количество треков деления отражает возраст образца. Для определения необходимо знать концентрацию урана – от этого показателя зависит число треков. Для анализа урана с помощью тепловых нейтронов индуцируется деление ^{235}U , треки которого физически идентичны трекам спонтанного деления ^{238}U . Данный метод, несмотря на большой период полураспада для спонтанного деления ^{238}U ($8,2 \cdot 10^{15}$ лет), может быть применён для измерения относительно небольших промежутков времени в прошлом (10^6 лет). Возможность датирования этим методом в диапазоне молодых возрастов (от 1000 лет) требует весьма высокой концентрации урана в веществе. Обычно этот метод используется для определения возраста верхнеплиоценовых - четвертичных вулканитов.

Радиоуглеродный метод. Данный метод основан на том, что в атмосфере Земли под воздействием космических лучей за счет азота идёт ядерная реакция $^{14}\text{N} + n = ^{14}\text{C} + p$; вместе с тем ^{14}C радиоактивен и имеет период полураспада 5730 ± 40 лет. В атмосфере установилось равновесие между синтезом и распадом этого изотопа, вследствие чего содержание ^{14}C в воздухе постоянно. Растения и животные при их жизни усваивают углерод и всё время обмениваются им с атмосферой, поэтому и концентрация в живых организмах ^{14}C поддерживается на постоянном уровне; в мертвых организмах обмен с атмосферой прекращается и концентрация в них ^{14}C начинает падать по закону радиоактивного распада. Измеряя содержание ^{14}C с помощью высокочувствительной радиометрической аппаратуры, можно установить возраст органических остатков. По отношению изотопов $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ определяется возраст породы, где захоронены органические остатки (кости, растения, древесина, торф, гумус, раковины моллюсков и др.). Изучение изотопных отношений углерода ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C в осадочных карбонатных породах, карбонатах и органогенных образованиях позволяет решать вопросы о происхождении нефти, газа, алмазов, углеводородных соединений в магматических породах, графита в древних метаморфических толщах. Метод широко используется при определении возраста верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений, формирования речных террас и других объектов, время образования которых не менее 1 тыс. лет и не превышает 60 тыс. лет, а также в археологии при установлении возраста следов древних культур человека. Образцы моложе 1 тыс. лет не анализируют из-за большой погрешности в определении; максимальный же возраст в 60 тыс. лет требует высокой технической сложности анализа и специального обогащения пробы радиоуглеродом, что крайне удорожает анализ. Различное содержание ^{14}C в годовых кольцах древесины может указывать на неодинаковую интенсивность образования его в атмосфере прошлых геологических эпох, связанную с периодами изменения интенсивности космического облучения планеты.

Образцы на данный анализ требуют тщательной чистоты отбора, хранения и обработки во избежание загрязнения. Радиоуглеродные даты могут быть омоложены или удревнены вследствие наложения процессов гниения, адсорбции углеродсодержащих веществ из грунтовых вод (гуминовых кислот), обменов с углеродом окружающей среды (CO_2 , PCO_3 из вод и воздуха).

Радиево-иониевый метод определения возраста молодых образований первоначально был основан на распаде радия и иония в морских илах, обогащённых этими изотопами. Если в начальный момент времени в верхнем слое донных осадков $\text{Io} > \text{Ra} > \text{U}$, то содержание радия со временем должно меняться. Радий накапливается за счёт иония. Максимум соответствует моменту установления радиоактивного равновесия между радием и ионием (~ 10 тыс. лет). Но из-за высокой миграционной способности радиоэлементов в илистом веществе нарушается радиоактивное равновесие между ионием и

радием, что не позволяет получить надёжных результатов. В дальнейшем были предложены методы непосредственного определения иония в морских осадках, это способствовало развитию ионий-ториевого метода.

Ионий-ториевый метод основан на допущении совместного осаждения из океанической воды двух изотопов – тория ^{232}Th (Th) и ^{230}Th (Io) при условии: 1) отношение Io/Th в водной массе над осадком остаётся постоянным в течение $\sim 0,5$ млн. лет; 2) форма нахождения иония и тория в воде океана одинакова; 3) исследуемые океанические осадки не содержат терригенного материала. Торий в данном случае можно рассматривать как стабильный изотоп, ионий же распадается с заметной скоростью. Тогда отношение Io/Th меняется только в связи с распадом иония, что даёт возможность определить возраст из отношения ионов. Предел датирования этим методом составляет ~ 400 тыс. лет.

5.11.2. Радиационные дозиметрические методы

Термолюминесцентный метод - это физический метод датирования объектов минерального происхождения путём измерения энергии, излучённой в результате нагрева образца. Он основан на способности некоторых материалов (стекло, кварц, глина, полевой шпат, алмаз, кальцит и др.) с течением времени накапливать энергию ионизирующего излучения, а затем, при нагреве, отдавать её в виде светового излучения (вспышек света). Чем старше образец, тем больше вспышек будет зафиксировано. Если образец в какой-то момент подвергся сильному нагреву или длительному солнечному облучению (отбеливанию), первоначальный накопленный сигнал стирается, и отсчёт времени следует вести именно с этого эпизода. Для калибровки метода оценивается радиационный фон в данной местности и локальная интенсивность космических лучей. В идеальных условиях метод позволяет датировать образцы возрастом от нескольких сотен до примерно 1 млн лет с погрешностью около 10 %, которая в некоторых случаях может быть значительно уменьшена.

Оптически стимулированное люминесцентное датирование - метод датирования четвертичных отложений путём оценки времени последнего природного облучения (то есть воздействия солнечной радиации) входящих в состав отложений некоторых обломочных минералов перед их захоронением. Возраст определяется отношением дозы поглощенной зёрнами кварца и полевого шпата радиации, фиксируемой люминесцентным сигналом, вызванным светом узкого оптического диапазона (в частности, инфракрасного), и дозы природной радиации среды отложения (Вагнер, 2006). Диапазон определяемых возрастов образцов - от нескольких сотен до 100 000 лет. Погрешность определения возраста при оптимальных условиях составляет около 5%.

Метод электронно-парамагнитного или электронно-спинового резонанса связан с процессом накопления в минералах радиационно-

индуцированных парамагнитных центров. Термин «электронный спин» обозначает специфическую характеристику электрона - момент количества движения, который является результатом собственного вращения электрона. Спин электрона приводит к тому, что последний становится элементарным магнитом. Обычно магнитный момент пар электронов компенсируют друг друга. Однако, в парамагнитных центрах (возникающих при захвате радиационно-индуцированных свободных зарядов дефектами кристалла) могут находиться неспаренные электроны. Электронно-спиновый резонанс как токовой возникает при приложении микроволнового излучения (с частотой равной частоте прецессионного движения оси вращения электрона) перпендикулярно направлению магнитного поля. Электронно-спиновое резонансное датирование требует существования в материале достаточно стабильных во времени центров электронно-спиновых резонансов на протяжении всего датируемого периода (большинство центров электронно-спиновых резонансов в отложениях, расположенных неглубоко от поверхности земли, обладают средними периодами жизни 10^6 лет и более). Возрастной диапазон электронно-спинового резонансного датирования охватывает интервал от нескольких сотен до 2 млн лет назад. Электронно-спиновые резонансные значения возраста образца определяют либо время образования горных пород, либо время вторичной переустановки уже существующей системы в результате нагрева материала или светового воздействия на него. Лучше всего данный метод работает на карбонатных породах. Этим методом можно также определять возраст ископаемых костей, зубов, раковин моллюсков.

5.11.3. Нерадиологические методы

Существующие в настоящее время некоторые нерадиологические методы уступают по точности изотопным методам; примерами являются соляной, седиментационный, варвометрический. Хорошие результаты по точности дают, например, такие методы, как аминокислотный, дендрохронологический. Рассмотрим кратко каждый из названных методов.

Соляной метод был впервые применён для определения возраста Мирового океана. Он основан на предположении, что воды океана были первоначально пресными. Тогда, зная современное количество солей, сносимое с континентов, можно определить время существования Мирового океана (~ 97 млн. лет).

Седиментационный метод основан на изучении осадочных пород в морях. Зная объём и мощность морских отложений в земной коре в отдельных системах и объём минерального вещества, ежегодно сносимого в море с континентов можно вычислить продолжительность их наполнения.

Варвометрический метод – метод подсчета слоёв ленточных глин, накапливающихся на периферии тающих ледников. Глинистые осадки откладываются зимой, а песчаные летом и весной, таким образом, каждая

пара таких слоёв – результат годового накопления осадков. Исходя из этого метода, например, установлено, что последний ледник в Балтийском регионе прекратил своё движение 12 тыс. лет назад.

Аминокислотный метод основан на том, что «левые» аминокислоты, из которых построены белки всех живых организмов, после смерти постепенно рацемизируются, то есть превращаются в смесь «правых» и «левых» форм. Метод применим только к образцам очень хорошей сохранности, в которых сохранилось достаточное количество первичного органического вещества (раковины, кораллы, фораминиферы, зубы, кости, глубоководные осадочные породы). Другая сложность заключается в том, что скорость рацемизации напрямую зависит от температуры. Поэтому, например, для образцов из умеренных широт метод имеет разрешающую способность порядка 20 - 30 тыс. лет, но применим лишь для молодых отложений (не старше 2 млн лет); в полярных районах этот метод позволяет датировать более старые образцы (до 5 - 6 млн лет), но с меньшей точностью (ошибка порядка 100 тыс. лет).

Дендрохронологический метод - один из наиболее надёжных методов абсолютной датировки в археологии с очень высокой точностью, вплоть до одного года. В геологии применим только для голоцена. Дендрохронологический метод основан на том положении, что толщина древесного ствола каждый год увеличивается на одно так называемое годовое кольцо. Все годовые кольца одного и того же дерева разнятся своей толщиной. При благоприятных условиях жизни дерева образуется толстое кольцо, при неблагоприятных - тонкое. При этом и сама толщина кольца, и её отношение к толщинам предшествующего и последующего колец может быть установлена с высокой степенью точности. Поскольку колебания годового прироста в рамках конкретной климатической зоны у деревьев одного биологического вида схожи, то получив спилы со стволов, время жизни которых совпадает на каком-то отрезке времени, можно совместить и последовательности их годовых колец, выраженные в определенном формате, получив, таким образом, совокупную дендрохронологическую колонку или шкалу. Эту шкалу можно протягивать в прошлое, используя последовательности годовых колец, полученные для более старших деревьев этого же вида. Ныне дендрохронологические шкалы выстроены для разных древесных пород и географических регионов Старого и Нового Света и охватывают максимально период около 10 тыс. лет (от наших дней).

5.11.4. Геохронометрические подразделения

На основании определения геологического возраста горных пород предлагается выделять геохронометрические подразделения - подразделения геологического времени, выраженные числами в стандартных единицах физического времени. Общепринятой единицей времени является

стандартный год Международного астрономического союза, определённый в секундах. Эталонная секунда воспроизводится с помощью атомно-цезиевых часов. Это время, равное 9,192631700 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия (^{133}Cs). При использовании единиц времени в геологии рекомендуется международная система сокращённых обозначений с буквой «а» (от лат. annum - год): Ка (Kilo-annum) - 10^3 лет, Ма (Mega-annum) - 10^6 лет, Га (Giga-annum) - 10^9 лет.

Применение геохронометрических методов служит общему прогрессу геологии. Оно даёт представление о количественной стороне геологической истории и позволяет восстанавливать последовательность геологических образований в тех регионах, где остальные методы неприменимы или ненадёжны.

5.12. Метод молекулярных часов

Метод молекулярных часов интенсивно развивается с 60-х годов прошлого столетия, однако наиболее широко стал использоваться лишь в последние 5 - 10 лет (Зорина, 2015). Суть данного метода заключается в том, что нуклеиновым кислотам присуща практически постоянная скорость эволюционно значимых замен молекулярных мономеров (нуклеотидов). Отсюда следует, что время, прошедшее с момента расхождения каждой пары ветвей родословного древа («сестринских групп»), пропорционально числу молекулярных замен при условии отсутствия селективного давления. Разница между ортологичными молекулами двух разных видов используется для определения времени, прошедшего с тех пор, когда два вида в последний раз имели общего предка. Реально скорость мутаций неравномерна и различна для разных видов, поэтому расчёты на основе молекулярных часов весьма приблизительны.

Гипотеза молекулярных часов была выдвинута при сравнении гемоглобина и цитохрома С из разных видов. Цукеркэндл и Полинг (Zuckerlandl, Pauling, 1962, 1965) заметили, что темпы аминокислотных замен в этих белках приблизительно одинаковы при сравнении различных млекопитающих. Они предположили, что для любого белка во всех филогенетических линиях темпы эволюции постоянны.

Эта гипотеза породила множество споров. Классические эволюционисты выступали против неё. Проведённые позже исследования, показали, что не во всех линиях наблюдается постоянный темп эволюции: разным таксонам присущи разные темпы эволюции. Скорее всего, не существует глобальных молекулярных часов, но есть локальные часы, внутри таксонов. Действительно, внутри таксонов часто не наблюдается достоверных различий в темпах замен. Различия в темпах эволюции часто объясняют эффектом времени генерации или различной эффективностью систем репарации, скорости замен увеличиваются после генных дупликаций

и во времена адаптивной радиации. Тем не менее, несмотря на спорность гипотезы молекулярных часов, она широко используется для оценок времён дивергенции видов и построения филогенетических деревьев.

В 2009 г. издан справочник, где учитываются данные по 1610 семействам всех трёх доменов (Hedges, Kumar, 2009). Ниже приведены некоторые датировки событий, полученные с помощью метода молекулярных часов:

- появление жизни на Земле - 4,4–4,2 млрд лет;
- первая дивергенция жизни - 4,2 млрд лет;
- появление эукариотов (Eukaryota) - 2,0 млрд лет;
- появление грибов (Fungi) - 1368 млн лет;
- появление животных (Metazoa) - 1020 млн лет;
- появление наземных растений (Embryophyta) - 936 млн лет;
- появление моллюсков (Mollusca) - 698 млн лет;
- первая дивергенция наземных растений (Embryophyta) - 593 млн лет;
- появление покрытосеменных растений - 355 млн лет;
- первая дивергенция крокодилов (Crocodylia) - 102,6 млн лет;
- появление приматов (Primates) - 86,2 млн лет;
- появление гоминид (Hominidae) - 18,8 млн лет.

5.13. Геофизические каротажные методы

Важнейшим способом получения геологического материала по геологически закрытым территориям и более или менее лишённым обнажений является бурение скважин. Непосредственное заключение о характере разреза делается по керну скважины или (в меньшей степени) по шламу (обломков пород разреза, вынесенных с буровым раствором). Однако подъём керна возможен не из всех разновидностей пород, бурение с керном является очень медленной и дорогостоящей процедурой. Поэтому получение представлений об особенностях разреза, пройденного скважиной, основывается на интерпретации геофизических показателей различных свойств горных пород, вскрытых скважиной. *Геофизический каротаж* - это измерение специальным зондом значений физических свойств горных пород, слагающих стенки скважины. Различают следующие виды каротажа: электрический, радиоактивный, магнитные, акустический, механический (кавернометрия), индукционный, термический и др. Количество их постоянно растёт в соответствии с развитием геологии и геофизики.

Результатом любого каротажа являются записи показаний приборов в виде диаграмм, получаемых непосредственно при бурении скважин. По вертикальной оси в определённом масштабе (обычно 1:500 и 1:200) откладывают пройденные глубины (от устья до забоя), по горизонтальной оси - значения измеряемых параметров (в своём масштабе). Характер записи диаграммы зависит от размеров и конструкции зондов, а также от состава и петрофизических особенностей пород, слагающих стенки скважин, диаметра

скважины, свойств промывочной жидкости, температуры и т.д. Любое значительное изменение исследуемого параметра, зафиксированное на каротажной диаграмме, отражает только изменение состава пород в разрезе. Данное обстоятельство обосновывает возможность его расчленения, а сравнение нескольких диаграмм позволяет проводить корреляцию разрезов скважин. Однако надо помнить, что геофизический каротаж является формальной регистрацией определённых характеристик разреза, которые обычно не прослеживаются за пределы ограниченного района. При корреляциях регионального масштаба, он обычно малоэффективен, а при выполнении сопоставлений межрегионального масштаба и глобального вообще не эффективен. При этом каротажные кривые не несут информацию о возрасте горных пород и без данных, полученных другими методами, не дают возможности проводить корреляции с определённой степенью уверенности.

Изображаемые на диаграммах параметры отражают петрофизические свойства пород: электропроводность, плотность, намагниченность и др. Они не позволяют непосредственно получать характеристику состава и текстурных особенностей отложений. Роль стратотипов литолого-петрографических разностей горных пород разреза исследуемого района играют *опорные* и *параметрические скважины*, которые проходятся с максимальным (в идеале 100%-м) отбором керна. Последний затем всесторонне исследуется геологами в специальных лабораториях для геологической интерпретации геофизических данных, наносимых на диаграммы.

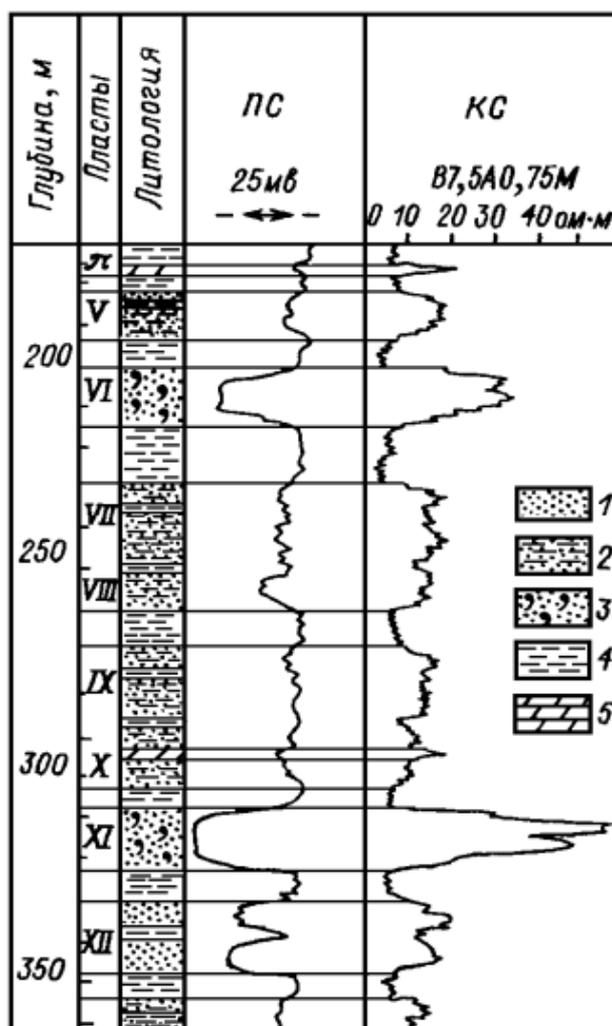
Опорные скважины представляют типичные разрезы геологических регионов, структурно-фациальных или структурно-тектонических зон. Параметрические скважины используются для установления геофизических параметров характерных горных пород. Важнейшими задачами этих эталонных скважин являются: 1) изучение вещественного состава, условий залегания и мощности образований, вскрытых скважиной; 2) выделение литостратиграфических подразделений в разрезе и установление их стратиграфического положения; 3) корреляция пройденных скважиной стратиграфических подразделений с развитыми в обнажениях или в скважинах соседних районов; 4) выделение каротажных реперов и установление отражающих сейсмических горизонтов в разрезе скважины.

Электрокаротаж скважин. Это один из наиболее широко распространённых методов. Он заключается в непрерывном измерении по необсаженному стволу скважины естественных (спонтанных) потенциалов (ПС), возникающих при взаимодействии промывочной жидкости и пластовых вод, а также кажущегося удельного сопротивления горных пород (КС), обусловленного преимущественно удельным сопротивлением поровых вод и отчасти сопротивлением самой породы (рис. 21).

По диаграммам ПС и КС представляется возможным диагностировать основные типы терригенных, глинистых и карбонатных отложений, а также,

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

Значения КС горных пород зависят от степени минерализации пластовых вод. Они значительно понижаются, если пласты содержат воды с высокой минерализацией. Вследствие этого сопротивления глин могут в отдельных случаях значительно превышать сопротивления песков с минерализованной водой (Итенберг, 1972).



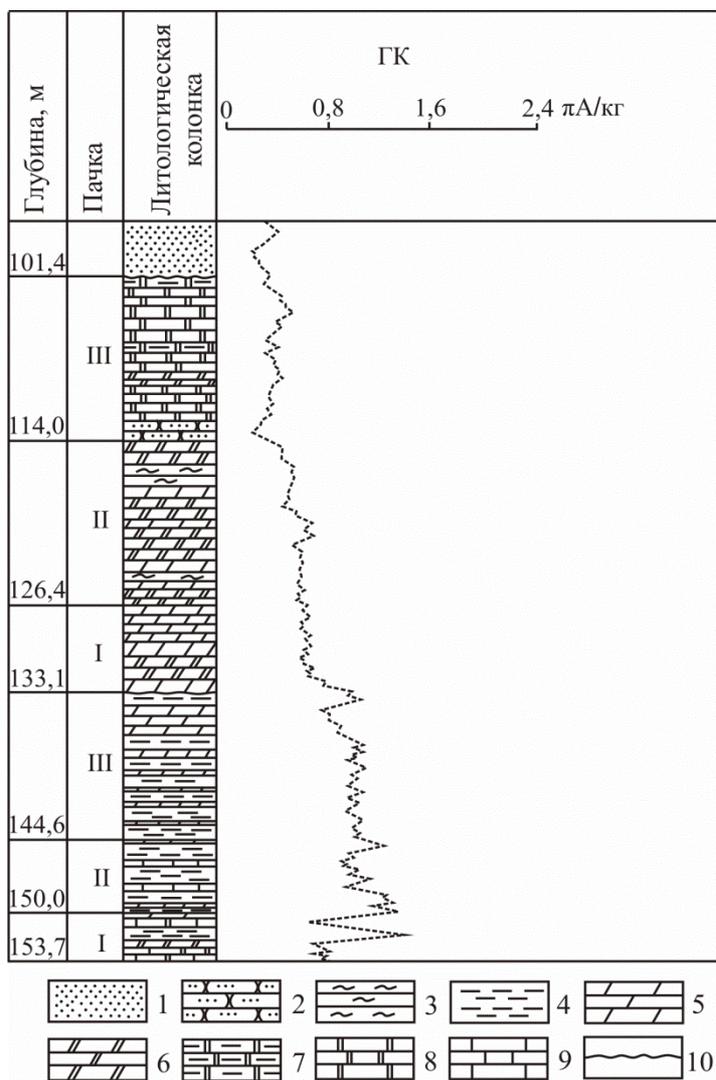
1 – пески и слабосцементированные песчаники водоносные; 2 – глинистые пески и песчаники слабосцементированные; 3 – пески и песчаники нефтеносные; 4 – глины; 5 – мергели

Рисунок 21 – Кривые электрокаротажа (Итенберг, 1972)

Чёткость каротажных диаграмм зависит от диаметра скважины: чем он

меньше, тем отчётливее рисунок каротажных кривых, а также от степени уплотнённости породы.

Радиоактивный каротаж скважин 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 (ГК), применяемый как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах (рис. 22). Гамма-каротаж сводится к измерению интенсивности гамма-излучения горных пород за счёт содержащихся в них радиоактивных элементов - тория, урана и радиоактивного изотопа калия ^{40}K .



1 – пески; 2 – песчаники; 3 – алевриты; 4 – глины; 5 – мергели; 6 – мергели доломитизированные; 7 – доломиты глинистые; 8 – доломиты; 9 – известняки; 10 - поверхности перерыва

Рисунок 22 – Кривая гамма-каротажа

По значениям естественной радиоактивности осадочные породы делятся на три группы:

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

2) средней радиоактивности - глины (морские и пресноводные), глинистые песчаники и известняки, мергели, глинистые доломиты;

3) низкой радиоактивности - ангидриты, гипсы, доломиты, известняки, песчаники, иногда каменные угли.

Как видно из приведённого обзора, наличие глинистого материала в основном, ведёт к увеличению естественной радиоактивности горных пород в связи с высокой адсорбционной способностью глин. Положительные аномалии ГК могут отмечаться и при проходке монацитовых и других обогащённых радиоактивными минералами песков. Несмотря на то, что в общем виде интенсивность гамма-излучения горных пород пропорциональна содержанию в них радиоактивных минералов, она зависит и от плотности самой породы, так как с увеличением плотности возрастает поглощение гамма-излучения породой и соответственно уменьшается поток, измеряемый зондом. Также на интенсивность естественного гамма-излучения оказывает влияние радиоактивность пластовых вод. В частности, повышенной радиоактивностью характеризуются высокоминерализованные хлоркальциевые воды.

Магнитные методы исследования скважин. Существуют, например, скважинные методы естественного магнитного поля и магнитной восприимчивости. *Метод естественного магнитного поля* (МЕМП) основан на изучении магнитного поля Земли. Наиболее интенсивные аномалии отмечаются вблизи магнетитовых руд и изверженных пород основного и ультраосновного состава. Измеряют составляющие полного вектора напряжённости геомагнитного поля T , что позволяет обнаруживать незначительные рудные тела в околоскважинном пространстве (в том числе расположенные на 200 - 300 м ниже забоя) и определять элементы их залегания. Данные этого метода позволяют определить направление намагниченности пород, в том числе - выявить пласты с обратной намагниченностью.

Метод магнитной восприимчивости (ММВ) основан на изучении искусственного переменного магнитного поля, значение ЭДС которого определяется магнитной восприимчивостью горных пород. Задачи, решаемые ММВ - литологическое расчленение и корреляция разрезов скважин, выделение скоплений бокситов, марганцевых, хромитовых, никельсодержащих, сидеритовых и оловянных руд, оценка содержания железа в магнетитовых рудах.

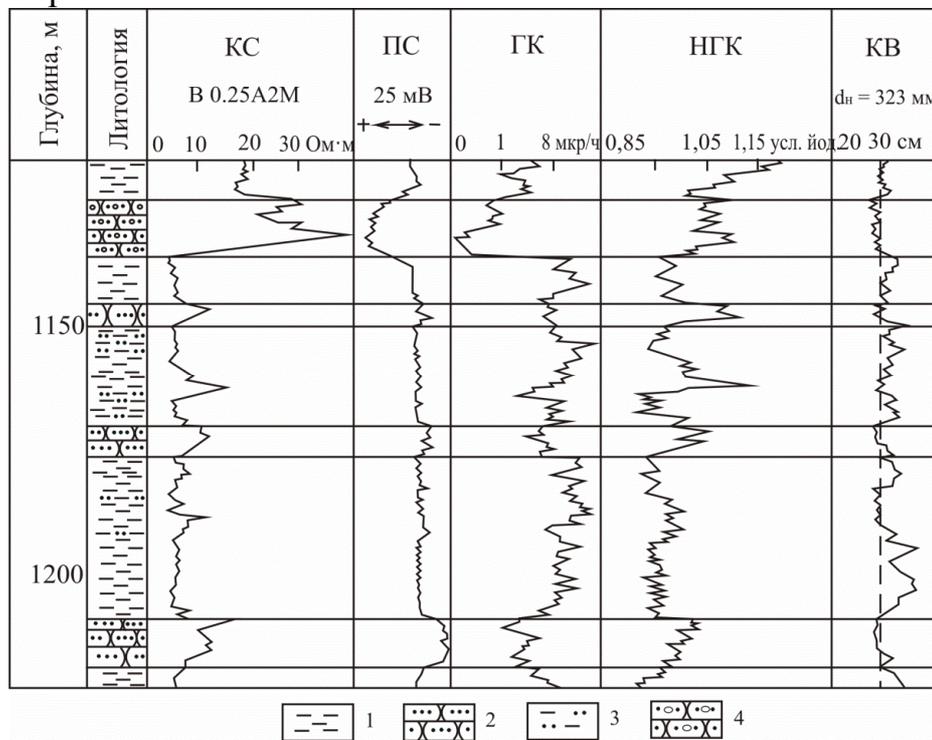
Акустический каротаж (АК) скважин основан на изучении времени (скорости) прохождения импульса упругих колебаний на звуковых частотах через горную породу в околоскважинном пространстве. Как правило, чем

плотнее горные породы - тем выше скорость. Также акустические свойства зависят от гетерогенности и структурно-текстурных особенностей горных пород. Для более детального изучения физических свойств зонды АК могут работать на нескольких частотах, иметь, например, один передатчик колебаний и несколько приёмников, с разной базой - расстоянием от источника до приёмника.

Метод кавериометрии (КВ). Данный метод основан на измерении диаметра скважины в зависимости от плотности, пористости и трещиноватости пробуренных пород. Так, глинистые породы часто характеризуются высокими значениями КВ, грубообломочные и хемогенные - быстро меняющимися, метаморфические и вулканогенные - устойчивыми значениями КВ.

В некоторых случаях важное значение имеют индукционный, термический и другие виды каротажа.

Каротажные методы изучения скважин дают исключительно полные сведения о разрезе. Наиболее достоверные сведения о составе и последовательности горных пород, вскрываемых скважинами, получаются при анализе нескольких видов каротажа (рис. 23), так как одни физические характеристики лучше отражаются в одних кривых, а другие - в других. Однако каротажные методы всё же не позволяют судить о таких параметрах, как цвет, текстура, структура и минеральный состав породы. Поэтому очевидно, что сопоставление по каротажу необходимо увязывать с данными по изучению керна.



1- глины; 2 - песчаники; 3 - глины песчанистые; 4 - песчаники нефтеносные

Рисунок 23 - Выделение в разрезе глинистых и песчаных пород по комплексу промыслово-геофизических данных (Итенберг,1972)

Каротаж буровых скважин показывает свою высокую эффективность в хорошо изученных районах при внутрирегиональной корреляции разрезов (рис. 24). В малоизученном регионе предварительно нужно бурить параметрическую скважину с выходом керна. При этом реконструируется литологическая колонка разреза, которая далее расчленяется и коррелируется как в литологическом методе. Большую роль в сопоставлении разрезов играют маркирующие уровни, геологическую природу которых необходимо устанавливать.

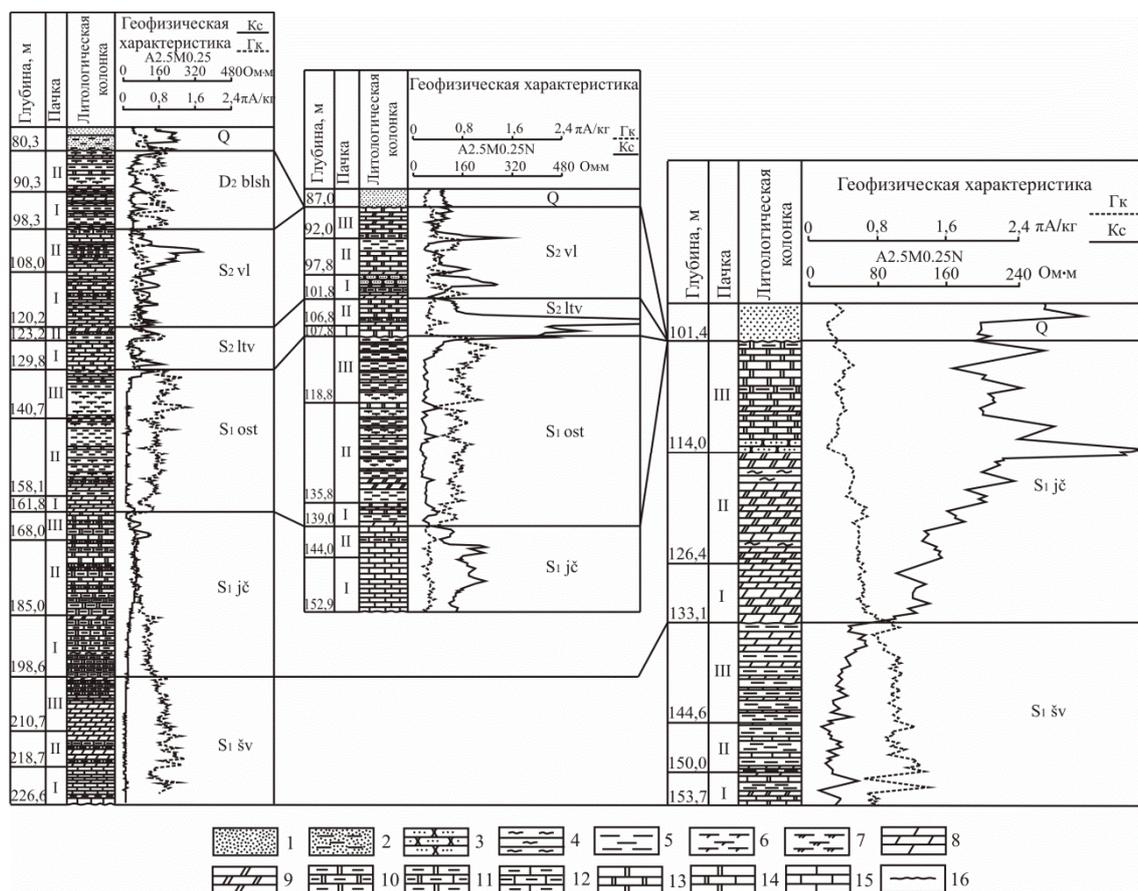


Рисунок 24 - Корреляция буровых скважин

5.14. Магнитостратиграфический метод

Магнитостратиграфический метод основан на том, во-первых, что Земля имеет магнитное поле, и на том, во-вторых, что любые частички минералов и минеральных агрегатов, содержащих в своём составе железо, в процессе формирования эффузивных и осадочных пород ориентируются по направлению магнитного меридиана. При формировании породы положение

магнитного меридиана того или иного времени остается зафиксированным в породе и может быть восстановлено. В основе метода лежит выделение магнитополярных подразделений на основе выявленных в породах магнитных параметров, отражающих, прежде всего, характеристики изменения полярности магнитного поля.

Магнитная полярность геологических объектов определяется первичной составляющей их естественной остаточной намагниченности. Магнитополярные подразделения по своей природе являются планетарно изохронными. Однако они обладают слабой индивидуальностью и для своего «опознания» нуждаются в дополнительных данных биостратиграфии и изотопного метода.

В стратиграфии используются два вида исследований:

1. Собственно палеомагнитные, целью которых является установление полярности в момент образования породы, положения палеополюса, палеошироты.

2. Петромагнитные, в процессе которых основное значение приобретает исследование магнитной восприимчивости пород. Хотя пики магнитной восприимчивости могут быть связаны с глобальными явлениями (эпохами тектонической активизации, аноксидными событиями), основное значение петромагнитные характеристики приобретают для региональных исследований.

Физической основой существования магнитного поля Земли является наличие жидкого проводящего ядра и вращение нашей планеты. Магнитное поле характеризуется двумя векторными величинами - напряженностью H и магнитной индукцией B . Важная характеристика - намагниченность J , $B = \mu_0(H + J)$; где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума. $J = \chi H$, где χ - магнитная восприимчивость.

В середине XIX века было обнаружено явление палеомагнетизма, то есть магнитное поле Земли геологического прошлого, закреплённое в своеобразных отпечатках этого поля - векторах естественной остаточной намагниченности горных пород.

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

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

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

Как во время формирования, так и в дальнейшем в горной породе образуются и преобразуются ферромагнитные минералы. Если это происходит при температуре ниже точки Кюри возникающего минерала, то в процессе роста его зёрен появляется *химическая остаточная намагниченность* $J_{гс}$. Как химическая, так и термоостаточная намагниченность - характерные виды намагниченности метаморфических пород.

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

Надежную информацию о древнем геомагнитном поле несет только та компонента $J_{п}$, возраст которой совпадает с возрастом породы, - *первичная намагниченность* $J_{п}$. По происхождению она может быть термоостаточной, химической и ориентационной. Поэтому главная задача любого палеомагнитного исследования - выделить первичную намагниченность (определить направление и модуль вектора $J_{п}$). Решение этой задачи ведётся геометрическими, статистическими и магнитными способами.

При интерпретации полученных данных принимают модель, базирующуюся на трёх основных гипотезах палеомагнетизма:

1) горные породы при своём образовании намагничиваются по направлению геомагнитного поля времени и места их образования (гипотеза фиксации);

2) приобретённая первичная намагниченность сохраняется (хотя бы частично) в породе в геологическом масштабе времени и может быть выделена из суммарной многокомпонентной естественной остаточной намагниченности породы (гипотеза сохранения);

3) геомагнитное поле, осреднённое за любые промежутки времени порядка 10^5 лет (кроме эпох инверсий) является полем диполя, помещённого в центр Земли и ориентированного по её оси вращения (гипотеза центрального осевого диполя).

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

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

Глобальность обоих явлений - дрейфа континентов и геомагнитных инверсий - служит предпосылкой применения палеомагнитного метода в стратиграфии, то есть магнитостратиграфических исследований. Основой этих исследований служат палеомагнитные шкалы, например, последовательности координат палеомагнитных полюсов или шкалы геомагнитных инверсий, привязанные к Общей стратиграфической шкале или изотопным датировкам. Так как геомагнитные инверсии - явление глобальное, должна быть точная стратиграфическая и хронологическая корреляция прямо и обратно намагниченных образований по всему миру. Поэтому шкала геомагнитных инверсий в принципе может быть построена как чисто хронологическая, если образцы горных пород, для которых определена магнитная полярность, удаётся датировать физическими методами. Такая шкала называется *магнитохронологической*. Этот подход к изучению истории геомагнитных инверсий корректен только при условии, что продолжительность эпох, в течение которых сохраняется геомагнитная полярность, превосходит погрешности метода датировки. Построение магнитохронологической шкалы, и то только для позднего кайнозоя, стало возможным лишь с развитием калий-аргонового метода, позволившего очень точно датировать вулканогенные породы, преимущественно, основные лавы, магнитная полярность которых определена.

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

Вторым способом построения шкалы геомагнитной полярности является палеомагнитное изучение разрезов донных осадков океанов по керну скважин. По сравнению с изучением вулканогенных образований этот метод может дать более полную информацию об истории геомагнитных

инверсий, особенно при изучении донных осадков глубоководных частей Мирового океана, не подверженных воздействию мутьевых потоков. Наиболее длинные колонки позволили проверить и уточнить шкалу Кокса и продолжить её до начала неогена.

Третий способ прослеживания истории геомагнитных инверсий - это изучение линейных магнитных аномалий на океанах и построение профилей вкрест простирания этих аномалий. Интерпретация таких профилей даёт последовательность прямо и обратно намагниченных аномалиеобразующих тел, которые в соответствии с концепцией разрастания океанического дна представляют собой хронологическую запись геомагнитных инверсий. Зная скорость разрастания дна, имея датировки некоторых из этих аномалий, полученные по коренным породам или нижнему слою осадков океанического дна, можно построить так называемую *аномалийную шкалу* геомагнитной полярности. Из-за молодости океанического дна этот способ также может быть применён при построении шкалы геомагнитной полярности только для юры и моложе.

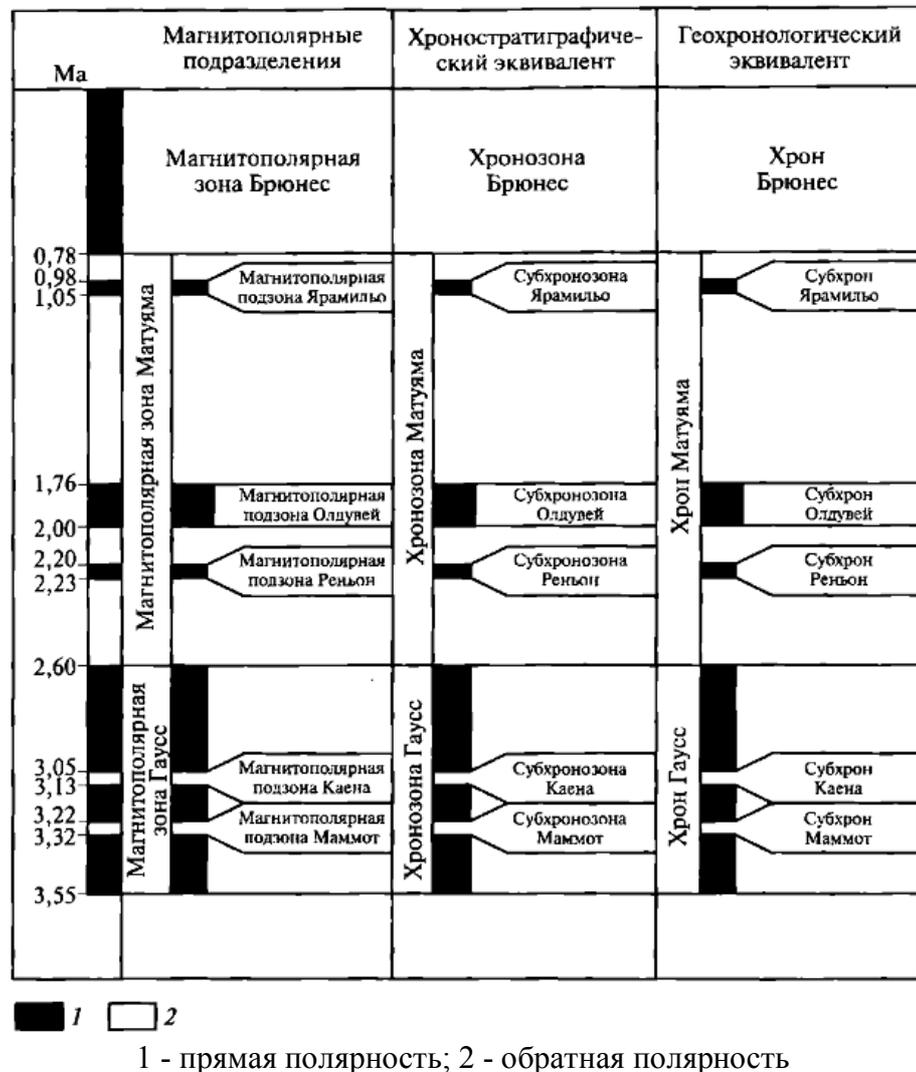


Рисунок 25 - Фрагмент магнитостратиграфической шкалы четвертичной системы (International Stratigraphic Guide, 1994)

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

Геомагнитные инверсии, если их рассматривать за длительные интервалы (эры и более), подчиняются сложной ритмичности. Они неравномерно распределяются по шкале времени, позволяя выявить интервалы сгущений и разрежений, характерные группировки и т.п. Следовательно, в магнитостратиграфической и магнитохронологической шкалах полярности можно выделить единицы разного ранга – таксономические единицы (рис. 25).

5.14.1 Магнитостратиграфические подразделения

В Стратиграфическом кодексе России (2006) *магнитостратиграфические подразделения* - это совокупности горных пород в их первоначальной последовательности, объединённые своими магнитными характеристиками, отличающихся от подстилающих и перекрывающих слоёв. Среди магнитостратиграфических подразделений по принципу обоснования различают магнитополярные и магнитные. *Магнитополярные (палеомагнитные)* подразделения базируются на магнитных параметрах, отражающих характеристики изменения геомагнитного поля во время изменения (обращения) полярности поля (инверсии, экскурсы), напряжённости, координат палеомагнитных полюсов и др. При этом главной характеристикой и основным критерием выделения является изменение полярности геомагнитного поля. Выделяются общие, региональные и местные магнитополярные подразделения. *Магнитные подразделения* не имеют в своей основе изменения геомагнитного поля, а выделяются по совокупности численных магнитных характеристик (по значениям магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, по параметрам магнитного насыщения и др.). Все магнитные подразделения относятся к региональным и местным.

Магнитополярными подразделениями являются *магнитозоны полярности* (магнитозоны, зоны полярности). Это совокупность геологических тел в первичной последовательности залегания, объединённых присущей им магнитной полярностью и отличающей их от подстилающих и перекрывающих слоёв. Магнитная полярность геологических тел

определяется первичной составляющей их естественной остаточной намагниченности, совпадающей с полярностью палеомагнитного поля. При выделении магнитозон полярности исходят из представления о дипольном состоянии палеомагнитного поля Земли. Полярность намагниченности, которая совпадает с полярностью современного геомагнитного поля, именуют *прямой* и обозначают латинской буквой N или n. Полярность, противоположная современному геомагнитному полю, называется *обратной* и обозначается латинской буквой R или r. *Переменную (смешанную) полярность*, часто чередующуюся по разрезу, обозначают сочетанием букв в зависимости от примерного равенства или преобладания какой-нибудь полярности (NR, Nr, Rn). *Аномальную полярность* (соответствует значительному отклонению направления геомагнитного поля от направления поля прямой и обратной полярности) обозначают вышеуказанными символами, перед которыми ставится буква a.

Магнитостратиграфическая шкала полярности строится путем сопоставления опорных магнитостратиграфических разрезов с подразделениями Общей стратиграфической шкалы. Эталоном для определения и идентификации основного стратиграфического подразделения по его палеомагнитным характеристикам является последовательность магнитозон (колонка магнитной полярности), наблюдаемая в стратотипическом разрезе данного подразделения. В эталонной колонке должна быть отражена вся последовательность изменений магнитной полярности в пределах стратиграфического объема подразделений и на его границах. При малой палеомагнитной информативности стратотипа эталонная колонка магнитной полярности строится по другим представительным разрезам стратона. По материалам эталонных колонок магнитной полярности основных стратиграфических подразделений выбираются стратотипы магнитозон, входящих в его состав. Стратотип магнитозоны должен включать также стратотипы границ, то есть стратотипы инверсионных уровней. Нижняя и верхняя границы магнитозон устанавливаются по инверсионным переходам, которые представляют собой границы раздела (фактически тонкие слои в разрезе), маркирующие положение моментов изменения полярности геомагнитного поля (геомагнитных инверсий) в стратиграфической последовательности. Такие границы называются *инверсионными (маркирующими) уровнями*. Если инверсионный переход занимает значительный по мощности интервал разреза, употребляется термин «*зона переходной полярности*» («*переходная зона*»). Инверсионные маркирующие уровни и уровни, соответствующие элементам тонкой временной структуры геомагнитного поля (инверсии, экскурсы, эпизоды, аномальные отклонения и др.), могут также выступать в качестве реперных уровней внутри магнитозон.

Ранг магнитостратиграфического подразделения (магнитозоны) определяется длительностью и значимостью соответствующего ему этапа в истории геомагнитного поля. Эмпирически этот ранг устанавливается по

стратиграфическим объёмам отложений, которым отвечает данное подразделение, или с помощью изотопных (радиологических) данных.

Магнитополярные подразделения по своей природе планетарно изохронны, но обладают слабой индивидуальностью. Поэтому для их опознания необходимо привлекать данные любых других стратиграфических и изотопных (радиологических) методов, а также характеристики магнитных подразделений.

Таксономическая шкала общих магнитополярных подразделений (магнитозон) состоит из следующих соподчиненных единиц, которым соответствуют таксономические единицы магнитохронологической шкалы (табл. 2).

Таблица 2

Магнитополярные подразделения	Магнитохронологические подразделения полярности и их приблизительная длительность, млн лет
Мегазона	Мегахрон – более 100
Гиперзона	Гиперхрон – 100–30
Суперзона	Суперхрон – 30–5
Ортозона	Ортохрон – 5–0,5
Субзона	Субхрон – 0,5–0,01
Микрозона	Микрохрон – менее 0,01

Ранг общих магнитополярных подразделений условно определяется по их соотношению с объёмами единиц Общей стратиграфической шкалы.

В настоящее время терминология магнитостратиграфической шкалы может быть использована только для фанерозоя и венда. Для рифея и венда возможно использование только крупных таксонов - мега- и гиперзон.

Вследствие специфики эволюции геомагнитного поля в магнитостратиграфической шкале полярности возможны нарушения непрерывной последовательности и соподчиненности её подразделений. В частности, известны гиперзоны без соподчиненных супер- и ортозон; некоторые суб- и ортозоны могут входить непосредственно в гипер- и суперзоны, минуя промежуточные подразделения.

Мегазона - магнитостратиграфическое подразделение, фиксирующее наиболее значительные этапы развития геомагнитного поля; по объёму примерно сопоставима с эратемой фанерозоя.

Гиперзона - магнитостратиграфическое подразделение, которое выделяется по особенностям распределения магнитной полярности в значительных интервалах разреза; сопоставима с системой. Гиперзоне присваивается географическое название с указанием полярности и стратиграфического положения. Например, гиперзона R Киама (C₂ – P₂).

Суперзона - магнитостратиграфическое подразделение, которое выделяется по тем же критериям, что и гиперзона, но охватывает меньший стратиграфический объем; сопоставима с несколькими ярусами или отделом.

Суперзоне присваивают географическое название с указанием полярности и стратиграфического положения.

Ортозона - основное подразделение магнитостратиграфической шкалы, представляющее собой монополярный интервал разреза или сочетание разнополярных субзон. Чаще всего это интервал преимущественной полярности с единичными реперными субзонами противоположной полярности. По объёму сопоставима с ярусом или его частью. Ортозоны нумеруют отдельно по полярности. Допускается сохранение ранее введённых собственных названий для глобально идентифицированных ортозон. Например, ортозона прямой полярности Брюнеса (N).

Субзона - элементарная единица магнитостратиграфической шкалы, представляющая собой сравнительно узкий монополярный интервал разреза. Субзоны нумеруют снизу вверх в пределах ортозоны с указанием индекса полярности. Допускается сохранение ранее введённых географических названий. Для индексации субзон применяются двойные и тройные буквенные индексы. При этом первая буква (n, r, a) указывает на характер полярности зоны, а следующие (N, NR, R, Rn, Nr и т.д.) - на принадлежность к определённой ортозоне.

Микрозона - наименьшая единица магнитостратиграфической шкалы, фиксирующая элементы тонкой временной структуры геомагнитного поля: экскурсы, аномальные отклонения и др. Микрозоны могут выступать также в качестве реперных уровней внутри единиц более высокого ранга. Их нумеруют снизу-вверх в пределах суб- или ортозоны с обозначением полярности. Допускается сохранение ранее введённых географических названий. Микрозоны индексируются аналогично субзонам.

При выделении и описании магнитозон приводятся следующие сведения: ранг; наименование (обычно, географическое) или нумерация (снизу-вверх); общая характеристика с перечислением основных признаков (преобладающая полярность, особенности режима инверсий); стратиграфический объём и наличие соподчинённых магнитостратиграфических таксонов; соотношение с общими (хроностратиграфическими) и региональными стратиграфическими подразделениями.

Региональные и местные магнитостратиграфические подразделения - это магнитополярные и магнитные подразделения, опознаваемые лишь в пределах конкретных регионов или структурно-фациальных зон. Независимо от принципа обоснования региональные и местные подразделения выделяются на основе стратотипов региональных или местных стратотипов.

Ранг региональных и местных зон магнитной полярности определяется по их соотношению с единицами Общей стратиграфической шкалы. Если их ранг относительно Общей шкалы не установлен, они обозначаются терминами «зона полярности» или «подзона полярности». Для таких единиц допустимы собственные, в том числе географические, названия орто- и

субзона. Названия региональных и местных зон магнитной полярности образуются из возрастного индекса, обозначения полярности и сокращенного географического названия основного стратона. Подразделения нумеруют снизу вверх. Магнитные подразделения, то есть магнитозоны, выделенные по численным магнитным характеристикам, не связанным с древним геомагнитным полем, собственных названий не имеют; их название заменяют краткими характеристиками. На основе выделения в разрезе и корреляции региональных и местных магнитостратиграфических подразделений составляются магнитостратиграфические схемы, которые обычно включаются в региональные стратиграфические схемы.

5.15. Сейсмостратиграфический метод

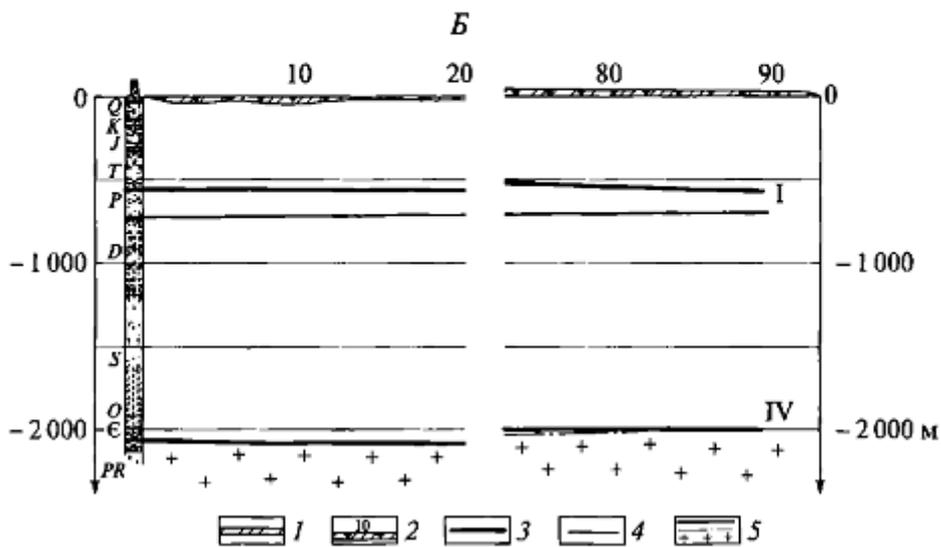
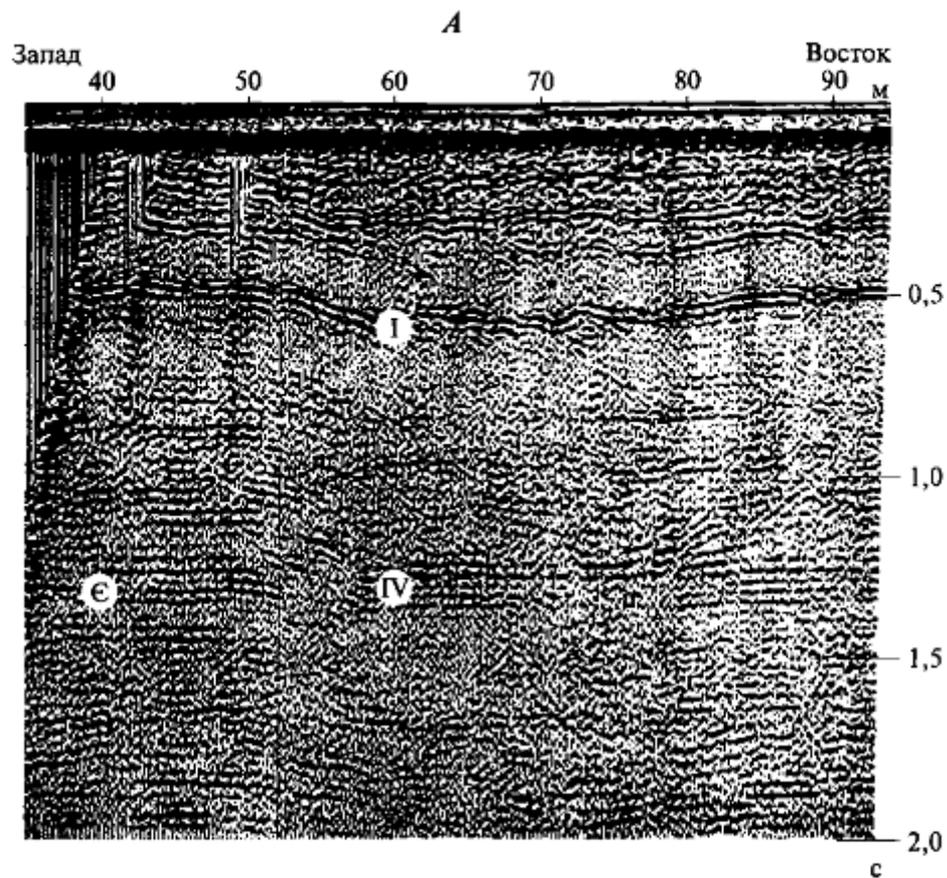
Наиболее эффективно поиски месторождений нефти и газа с 70-х гг. двадцатого века проводились и проводятся с помощью сейсморазведки. Интерпретация сейсморазведочных данных позволила на большой глубине (более 10 км) определить особенности вещественного состава пород, расшифровать последовательность напластования и относительный возраст пород. По предложению американских исследователей (П. Вейл, Р. Митчел, Р. Тодд) эта разнообразная информация стала именоваться *сейсмостратиграфией*.

В настоящее время сейсмостратиграфия особенно активно используется в нефтяной и газовой геологии и на неё приходится 90 % всех средств, затрачиваемых на геофизические исследования (Льноров, 2004).

Ещё со времён СССР сейсмостратиграфия получила очень широкое распространение после выхода в свет в 1982 г. перевода обобщающей работы американских авторов «Сейсмическая стратиграфия» (Seismic Stratigraphy..., 1977). В ней были сформулированы основные положения данного направления: «*Сейсмостратиграфия* представляет собой один из геологических методов стратиграфической интерпретации сейсмических данных. Специфические особенности отражённых (преломленных, обменных) волн позволяют непосредственно использовать при их интерпретации геологические концепции, базирующиеся на физических основах стратиграфии». «Предмет *сейсмической стратиграфии* - это изучение стратиграфии и фациального состава осадочных пород посредством интерпретации данных сейсморазведки» (Найдин, 1989).

Таким образом, сейсмостратиграфия представляет собой тесный комплекс геологических и геофизических методов и заключается в геологической интерпретации записей сейсмограмм (рис. 26).

Сейсмостратиграфия в решении задач стратиграфии базируется на положении об изохронности полученных геофизическими методами сейсмических отражений (осей синфазности), выявленных в осадочном чехле. Гладкие (зеркальные) отражения, связанные с напластованием пород, имеют строго фиксированный относительный возраст образования слоёв.

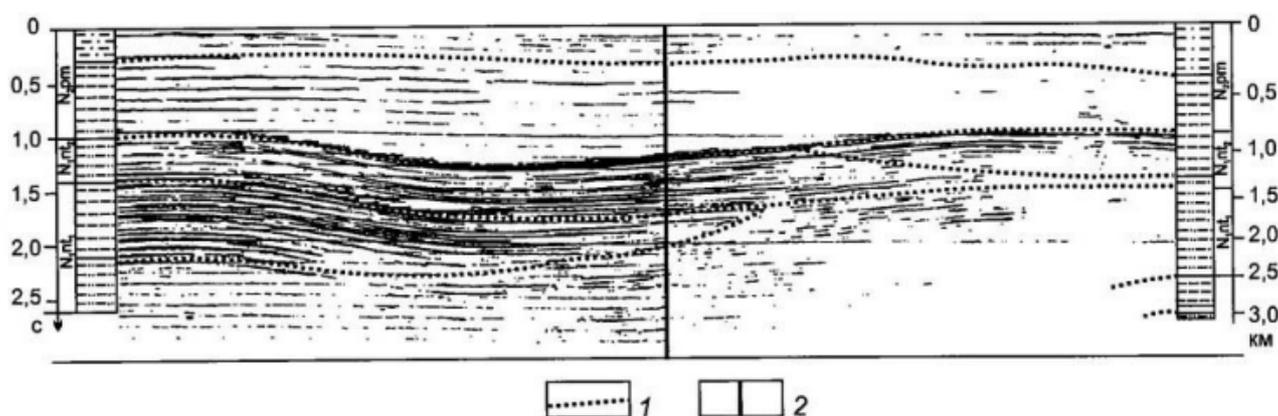


1 - дневная поверхность; 2 - пикеты профилей; 3 - отражающие границы (по данным ОГТ); 4 - стратиграфические границы (по геологическим данным); 5 - поверхность фундамента

Рисунок 26 - Временной (А) и сейсмической (Б) разрезы по профилю 4316 (I - IV) Славской площади Балтийской синеклизы (Методические рекомендации..., 1975)

Шероховатые отражения, приуроченные к поверхностям несогласий, датируются определённым возрастным диапазоном. Его нижний предел всегда моложе подстилающих слоёв (и соответствующих отражений) и

древнее покрывающих слоёв. Данное положение лежит в основе сейсмостратиграфического анализа. Вместе с тем, временные сейсмические разрезы могут содержать, помимо отражений, связанных с возрастными напластованиями и поверхностями несогласий, сейсмические границы, которые приурочены к разделам, созданным постседиментационными процессами (газгидраты, плоскости разрывных нарушений, пластовые интрузии и другие поверхности). Они, естественно, не являются изохронными, но их роль в формировании временного поля на сейсмостратиграфическом разрезе ничтожно мала и легко устанавливается по секущему положению к отражениям, связанным с напластованиями.



1 - фациальные границы; 2 - вертикальная линия разделяет сухопутную (левая) и морскую (правая) части разреза

Рисунок 27 - Фрагмент временного разреза Присахалинского шельфа и суши, иллюстрирующий латеральные фациальные (вещественные) переходы, которые секутся осями синфазности, связанными с возрастными напластованиями (Шлезингер, 1998)

Рисунок сейсмической записи позволяет подходить к прогнозированию фациального состава пород. Границы рисунка сейсмической записи фациальных зон часто секутся изохронными отражениями, то есть являются неизохронными. Из данных сейсмостратиграфии следует, что переход по латерали от одной фации к другой происходит постепенно и не создаёт перепадов акустической жёсткости, которые необходимы для образования сейсмического отражения (рис. 27). Выделение изохронных сейсмических фаций прямо согласуется с идеей Н.Б. Вассоевича о наличии в осадочном чехле так называемого синхронно-мутационного типа слоистости (замещение в пределах горизонтов, ограниченных определёнными временными уровнями, одних фаций другими).

При разных задачах меняется технология проведения сейсмических исследований. Для увеличения разрешаемых возможностей повышают частотный спектр волнового поля, но при этом понижается глубинность проникновения сигнала. Наоборот, при увеличении глубинности исследований понижают частотный спектр, проигрывая в разрешающей

способности. По латерали сейсмокванты (наименьшие сеймостратиграфические подразделения) низкоэнергетических слоёв осадочного чехла могут переходить в сеймоансамбли и даже сеймокомплексы (наибольшие сеймостратиграфические подразделения, выделение которых предусматривается Стратиграфическим кодексом России (2006)).

В настоящее время накапливается опыт картирования сеймостратиграфических подразделений, прежде всего, сеймокомплексов и самых крупных единиц - сеймоэтажей. Картирование таких drobных подразделений, как сеймокванты, существенно повышает познание строения осадочных бассейнов. Особенно оно важно для выявления неантиклинальных ловушек углеводородов. Сеймокванты имеют тенденцию к схождению или расхождению, вырисовывая исчезающие или появляющиеся возрастные геологические тела. Следует помнить, что возрастные диапазоны (особенно сеймоквантов) могут меняться в зависимости от технологии сейсмических исследований. Высокочастотная сейморазведка понижает возрастные объёмы сейсмических подразделений. И, напротив, низкочастотная сейморазведка их повышает. При картировании сеймостратиграфических подразделений в разных осадочных бассейнах важное значение при определении объёмов тех или иных тел имеет установление кровельного и подошвенного прилеганий.

Возрастные стратиграфические подразделения осадочного чехла выделяются по данной фазовой корреляции отражающих горизонтов. Она осуществляется при непосредственном прослеживании сейсмических отражений.

Сеймостратиграфические подразделения и сеймостратиграфическая корреляция намечаются прежде всего внутри единого осадочного бассейна. При переходе в другой бассейн, отдалённый значительной областью отсутствия осадочного чехла, сеймостратиграфическая корреляция должна осуществляться с учётом данных биостратиграфии. В ряде случаев сеймостратиграфия может помочь проверке биостратиграфических построений. Особенно это важно при переходе морских шельфовых отложений в образования открытого океана, где правильное сопоставление биотических комплексов вызывает большие трудности.

Сеймостратиграфия с её методикой исследования границ осадочных комплексов позволяет надёжно разграничивать области перерывов осадконакопления и последующих размывов, устанавливать типы несогласий. При этом по выраженности отражений (их гладкости и шероховатости) определяется масштаб перерывов (во времени и пространстве) и, в частности, намечаются скрытые перерывы. Калибровка перерывов глобального, регионального и местного уровней позволяет реально решать многие задачи стратиграфического расчленения. Одним из важных направлений использования сеймостратиграфии в стратиграфии является выявление этапности развития осадочных бассейнов прошлого.

Не лишним будет упомянуть о достоинствах сейсмостратиграфического метода. Это относительно небольшие финансовые затраты, быстрота получаемых результатов (в десятки раз быстрее, чем многими традиционными методами) и их наглядность, масштабность исследований (в смысле охвата значительных площадей осадочных бассейнов, способность изучать осадочный чехол в труднодоступных и плохо обнажённых районах (акватории, болота и прочее), возможность расчленять чехол на больших глубинах, возможность получать трёхмерное изображение.

5.15.1. Сейсмостратиграфические подразделения

Общепринятого соподчинения сейсмостратиграфических подразделений стратиграфической специализации фактически нет. В Стратиграфическом кодексе России (2006) выделяются региональные и местные сейсмостратиграфические подразделения.

К *региональным подразделениям* отнесены сейсмокомплекс и сейсмогоризонт. *Сейсмогоризонт* - поверхность формирования латерально устойчивого (когерентного) сейсмического сигнала, отвечающего волне определённого типа (отражённой, преломленной, обменной). Сейсмогоризонт может соответствовать границам раздела стратиграфических подразделений (изменениям условий осадконакопления) и поверхностям несогласий трансгрессивного, регрессивного или эрозионного характера. Латеральные изменения волнообразующего интервала геологического разреза (изменение вещественного состава, внутренней структуры и мощности) могут вызвать разветвление или слияние когерентных сейсмических сигналов и соответствующих им сейсмогоризонтов.

Сейсмокомплекс - это совокупность горных пород, характеризующаяся единством внутреннего структурного плана (преимущественно согласное залегание слоёв, однотипный характер дислокаций и др.), ограниченная регионально выдержанными горизонтами, обычно соответствующими поверхностям региональных несогласий. С помощью выдержанных промежуточных сейсмогоризонтов сейсмокомплекс может подразделяться на подкомплексы. Сейсмогоризонты, ограничивающие сейсмокомплекс (подкомплекс), обозначаются буквенными или цифровыми индексами. Если сейсмогоризонт разветвляется вследствие увеличения мощности интервала разреза, в котором формируется соответствующий сигнал, или по другой причине, то индекс сейсмогоризонта сохраняется за верхним ответвлением в кровельной его части и за нижним ответвлением - в подошвенной. Сейсмокомплекс обозначается буквенными или цифровыми индексами ограничивающих его основных сейсмогоризонтов или, в случае совпадения (по объёму и распространению) с определённым стратиграфическим подразделением, может получить название последнего.

Сейсмокомплекс отделяется опорными отражающими горизонтами, приуроченными к поверхностям несогласий или их согласным эквивалентам. В идеале сейсмокомплекс целесообразно выделять в объёме седиментационного комплекса, отвечающего эвстатическим циклам колебаний уровня моря разных порядков.

На практике выделение седиментационных комплексов, связанных с эвстатическими колебаниями уровня моря, наталкивается на определённые трудности. Чаще удаётся выделять сейсмокомплексы, которые разделяются поверхностями региональных угловых (структурных) несогласий и опорными отражающими горизонтами, фиксирующими региональные тектонические движения и особенности седиментации.

К *местным сеймостратиграфическим подразделениям* отнесены совокупности горных пород, обладающие тем или иным сейсмическим (акустическим) признаком или их сочетанием. Они могут быть выделены в сеймостратиграфических границах любых типов (поверхности отражения, изменения рисунка сейсмической записи и др.), которые латерально прослеживаются в отдельной структурно-фациальной зоне или части палеобассейна седиментации. Названия местных сеймостратиграфических подразделений образуются стратиграфическими терминами свободного пользования с приставкой сейсмо- (сейсмотолща, сеймопачка и др.). Названия сейсмоединиц могут включать индексы ограничивающих их сейсмогоризонтов, указания на глубинный (или временной) интервал регистрации на сейсмическом разрезе, сейсмометрическую характеристику толщи, а также название местного стратона, с которым соотносится данное сеймоподразделение структурно-фациальной зоны или участка работ (например, сейсмотолща 1 - II; высокоскоростная сеймопачка (в интервале глубин 1000-1200; ивановский волновой слой; акустический однородный интервал 1)

Несколько иная иерархия сеймостратиграфических подразделений была предложена Ю.Б. Гладенковым и А.Е. Шлезингер (2001). В качестве наиболее крупной сеймостратиграфической единицы ими предложено выделять *сейсмозтаж*. Он охватывает крупные части осадочного чехла с возрастным интервалом до первых сотен миллионов лет и толщиной до нескольких километров. В кровле и подошве сейсмозтаж обычно ограничивают поверхности угловых несогласий. Сейсмозтаж отличается единством структурного плана и обычно включает в себя несколько сейсмокомплексов.

Более дробная возрастная единица сеймостратиграфии - *сейсмоансамбль (сеймопакет)*. Он представляет собой часть сейсмокомплекса, ограниченный выдержанными отражениями. Толщина сейсмоансамбля не превышает 200-300 м при возрастном диапазоне в единицы миллионов лет. Его выделяют на значительно меньшей по площади территории, чем сейсмокомплекс. Сейсмоансамбль представляет собой сеймостратиграфическую единицу обычно внутривысотной -

внутрибассейновой корреляции и практически не используется при межплощадной корреляции. Наименьшую возрастную единицу сейсмостратиграфии Ю.Б. Гладенковым и А.Е. Шлезингер (2001) предложили называть *сейсмоквантом*. Она отвечает элементарным сейсмическим отражениям, на которые расчленяется временной сейсмический разрез.

Большую часть сейсмоквантов обычно составляют слабые сейсмические отражения. В зависимости от частотного спектра сейсмоквант может отвечать разным по мощности и возрастному интервалу единицам разреза.

5.16. Секвенс-стратиграфический метод

В середине 80-х годов секвентная стратиграфия, или секвенс-стратиграфия, широко вошла в научные и практические исследования садочных бассейнов. Как новое направление геологических исследований она связана с именем П.Р. Вейла.

Основные принципы и пути практического использования этого направления изложены в ряде обобщающих работ как зарубежных, так и российских исследователей (Сейсмическая стратиграфия..., 1982; *Interregional unconformities...*, 1984; Кунин, Кучерук, 1985; Van Wagoner et al., 1990; Секвенс-стратиграфия..., 1995; Био- и секвенс-стратиграфия..., 1997, Габдуллин и др., 2008 и др.).

Секвенс-стратиграфия представляет собой научную дисциплину, корни которой базируются на основных понятиях и положениях сейсмостратиграфии. При этом единицы секвентной стратиграфии и сейсмостратиграфического расчленения несут разную генетическую нагрузку. Первые отражают прежде всего цикличность, обусловленную относительными колебаниями уровня моря, а вторые являются единицами, отражающими разные процессы и стороны развития бассейнов. Часто подразделения секвентной стратиграфии и сейсмостратиграфические единицы не совпадают в разрезе. Секвентная стратиграфия может с успехом применяться при комплексировании сейморазведки отражённых волн с данными бурения и поверхностными геологическими исследованиями. Одиночные буровые скважины и естественные обнажения практически невозможно использовать при секвенс-стратиграфическом анализе.

Секвенс-стратиграфический метод наиболее эффективно применяется для детальных стратиграфических, литолого-фациальных и палеогеографических исследований в пределах стабильных (пассивных) шельфов и некомпенсированных впадин платформ. В нефтяной и газовой геологии он активно используется при прогнозе распространения и качества продуктивных толщ, а также при поисках литологически экранированных углеводородных залежей. Значительный экономический эффект от применения метода достигается на стадии разработки месторождений, когда

особое значение приобретают знания о седиментационной структуре нефтесодержащих резервуаров. Стратиграфические подразделения, применяемые в секвенс-стратиграфии относятся к группе специальных подразделений. Они выделяются как в терригенных, так и в карбонатных отложениях.

5.16.1. Терминология и основные понятия секвенс-стратиграфического метода

Терминология и иерархия подразделений секвентной стратиграфии ещё не устоялись. Один из вариантов иерархии включает в нисходящем порядке: мегасеквенс, суперсеквенс и парасеквенс (Дополнения..., 2000). Как правило, группировки секвенсов (мега-, супер-) образуют крупные подразделения, разделённые несогласиями регионального значения.

Секвенс - основная единица, которая представляет собой более или менее согласную последовательность генетически связанных слоёв, образованную за один цикл колебаний уровня моря. Друг от друга секвенсы, как правило, отделяются несогласиями. Это региональные подразделения, распространённые обычно в пределах всего бассейна седиментации. Они отчетливо выделяются в краевых (мелководных) частях бассейнов и часто плохо различимы в глубоководных разрезах.

Секвенс образуется в результате заполнения осадками дна бассейна за один цикл колебания относительного (в пределах данного бассейна) уровня моря. Причина этого колебания заключается в трёх главных факторах: *эвстазии*, вызывающей глобальные подъёмы и понижения уровня океана, отражающиеся на континентах в глобальных трансгрессиях и регрессиях, *эпейрогении* - вертикальных тектонических движениях дна бассейна и количестве поступающего осадочного материала. Роль каждого из этих факторов в конкретном районе может быть различной.

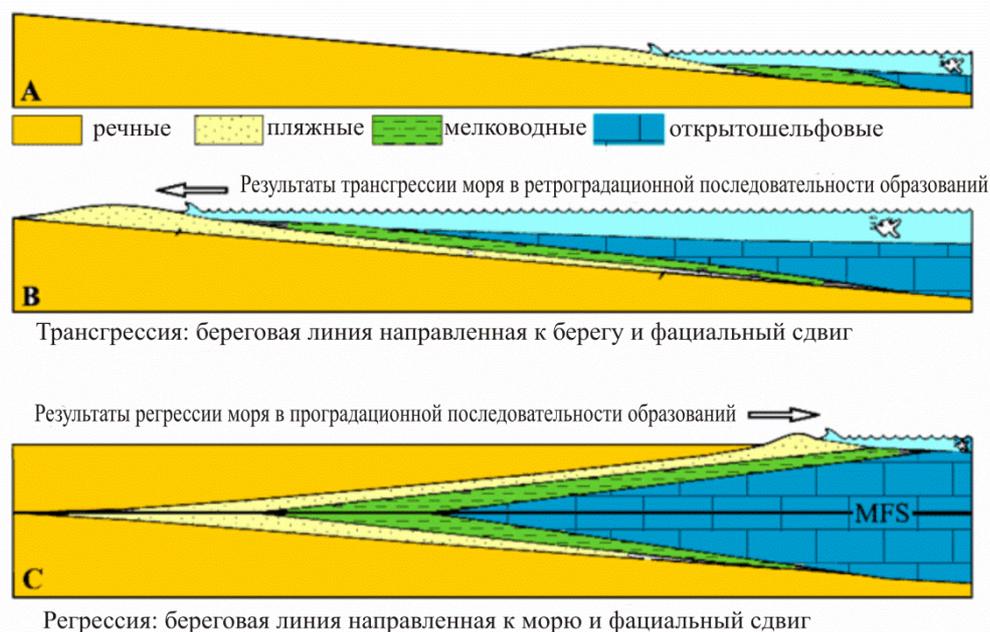
Значительная роль в образовании последовательностей слоёв (секвенсных подразделений) отводится *эвстатическим колебаниям уровня моря*. Для фанерозоя выделяют циклы эвстатических колебаний пяти порядков продолжительностью от сотен миллионов до десятков тысяч лет.

Образование секвенсов (в узком смысле) связано с циклами эвстазии третьего и иногда (значительно реже) с циклами четвертого порядка. Продолжительность циклов третьего порядка оценивается в 1 - 5 млн лет, четвёртого - 0,25 - 1 млн лет. Таким образом, секвенс формируется в среднем за 2 - 3 млн. лет.

Обычно при секвенс-стратиграфических исследованиях оперируют либо непосредственно самими секвенсами, либо с более крупными их группировками (*суперсеквенсами*). Формирование суперсеквенсов связывается с циклами эвстазии второго порядка, охватывающими около 10-80 млн. лет.

Выделение и работа с суперсеквенсами облегчается тем, что они отделяются, как уже было отмечено выше, региональными несогласиями.

Парасеквенс - последовательность слоёв, гранулометрический состав которых закономерно увеличивается снизу вверх по разрезу и по направлению от открытого моря к береговой линии. Подошва (и кровля) парасеквенса формируется за счёт резкого изменения уровня моря (рис. 28).



MFS – поверхность максимального затопления

Рисунок 28 - Схема, иллюстрирующая фациальные изменения при трансгрессии и регрессии (Catuneanu, 2006).

Синонимы парасеквенса - это мелеющая снизу вверх последовательность слоёв, представляющих собой регрессивный циклит.

Пакет парасеквенсов - это ряд парасеквенсов, сформированных на определённой части цикла колебания уровня моря. Выделяют три типа таких пакетов: проградационный, ретроградационный и агградационный.

Проградационный пакет парасеквенсов направлен в сторону бассейна и носит регрессивный характер (рис. 29), *ретроградационный* направлен в противоположную сторону и носит трансгрессивный характер (рис.30), *агградационный* характеризуется стабильным положением береговой линии (рис. 31).

Секвенсы состоят из трёх частей или трактов, которые представляют собой латеральные ряды, образовавшиеся в различных условиях седиментации. Это - тракт низкого стояния моря, трансгрессивный тракт и тракт высокого стояния моря (рис. 32).

Тракт низкого уровня моря связан с потоками подводных каньонов, активно действующими только при снижении уровня моря ниже бровки шельфа. Он сложен в основном турбидитами и подстилающими их подводными конусами выноса. Это так называемый *седиментационный клин*

отступающего моря (или наступающей суши), а иначе говоря - проградационный клин.



Рисунок 29 - Строение проградационного пакета секвенсов (Van Wagoner et al., 1990)



Рисунок 30 - Строение ретроградационного пакета секвенсов (Van Wagoner et al., 1990)

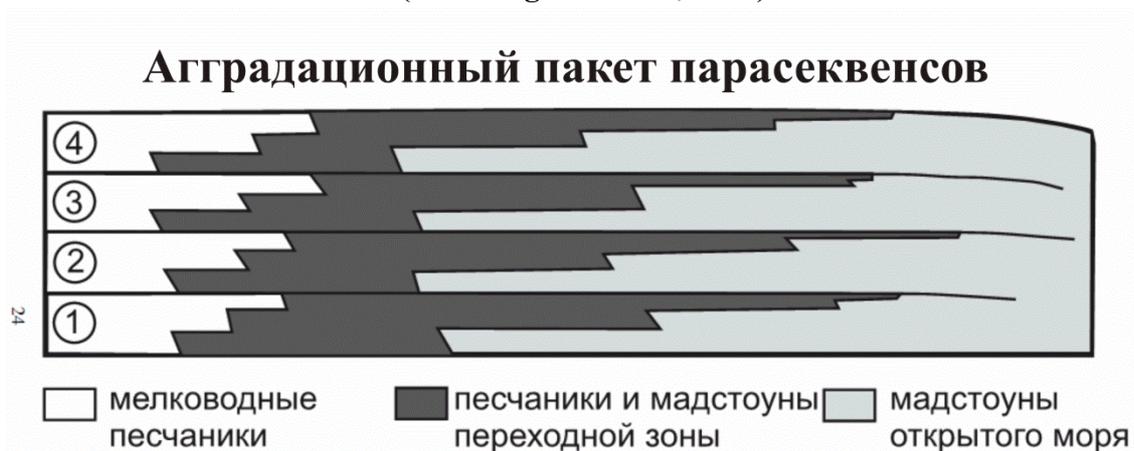


Рисунок 31 - Строение агградационного пакета секвенсов (Van Wagoner et al., 1990)

Трансгрессивный системный тракт (ТСТ) образуется при подъёме уровня моря над бровкой шельфа. Полоса представлена «наступающим на

сушу» пакетом парасеквенсов, характеризующим трансгрессию на осушенный шельф и приморскую низменность. В зашельфовой области вследствие дефицита осадков образуется глинистый конденсированный разрез.



ТВУМ – тракт высокого уровня моря; ТНУМ – тракт низкого уровня моря; ТСТ – трансгрессивный системный тракт

Рисунок 32 - Схема, иллюстрирующая распределение системных трактов в пределах элементарного эвстатического цикла

Тракт высокого уровня моря начинается обычно аградационным пакетом парасеквенсов, которые по мере снижения темпов подъёма уровня моря сменяются серией клиноформ «наступающей суши». Этот седиментационный клин высокого стояния уровня моря в глубоководной части бассейна превращается в тончайший глинистый покров, нарастающий конденсированный разрез трансгрессивного тракта.

Кровля трансгрессивного системного тракта представляет собой *поверхность максимального затопления территории*. Осадки максимального затопления шельфа, приморской низменности и отвечающий им глубоководный конденсированный покров служат маркирующими горизонтами при сопоставлении разрезов.

Надежность выделения поверхностей максимального затопления по данным сейсморазведки, в обнажениях, керне скважин и при каротаже, а также их присутствие во всех типах секвенсов послужили основанием для проведения по этим поверхностям границ секвенсов в одной из модификаций секвенс-стратиграфии - генетической стратиграфии.

Выделяются два типа секвенсов и соответственно два типа их границ.

Секвенс первого типа содержит (снизу вверх): полосу осадков низкого уровня моря, трансгрессивную полосу осадков и полосу осадков высокого уровня моря. Нижняя граница секвенса чёткая, что обусловлено значительным снижением уровня моря, приводящего часто к субаэральному размыву шельфа и сдвигу седиментации в зашельфовую (глубоководную) часть бассейна (рис. 33).

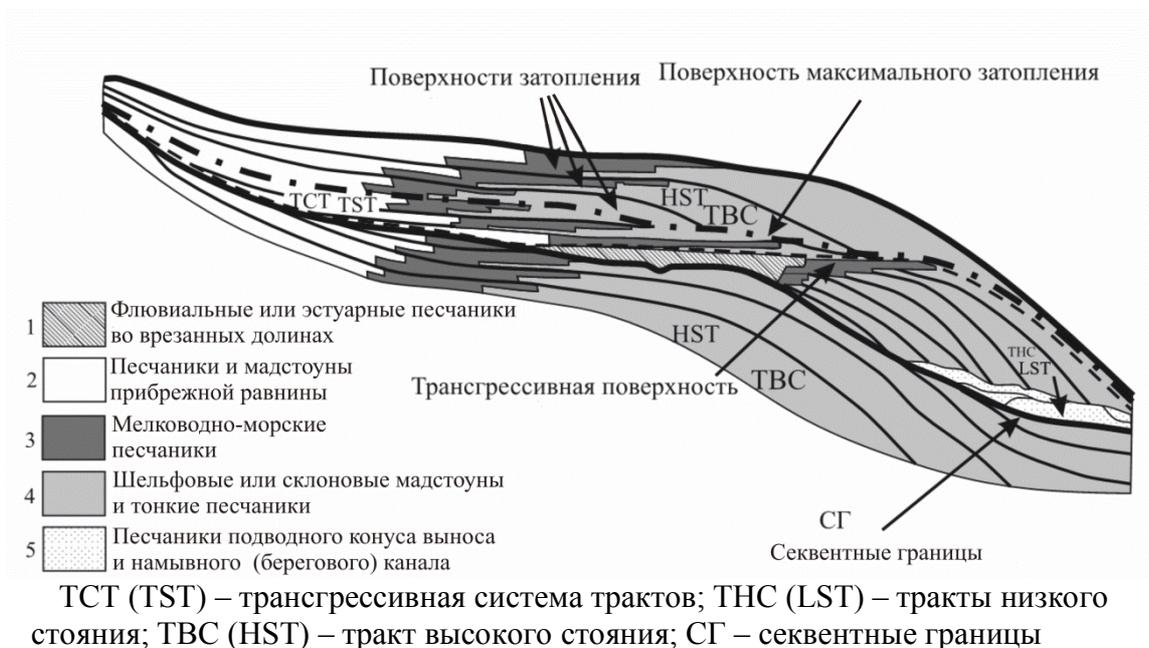


Рисунок 33 - Седиментационная модель секвенции первого типа (Van Wagoner et al., 1990)

Секвенс второго типа формируется при медленном подъёме уровня моря и его стабилизации. Резкого отступления моря, осушения шельфа и перемещения седиментации в зашельфовую часть бассейна в этом случае не наблюдается. В связи с этим в секвенсе второго типа отсутствует типичный тракт низкого стояния уровня моря. Вместо него при наиболее низком положении уровня моря формируется *седиментационная полоса окраины шельфа (окраинно-шельфовый тракт)*, представленная пакетом проградационных и агградационных парасеквенсов (рис. 34). Он мало отличается от нижележащего верхнего тракта подстилающего секвенса, и граница между ними не всегда отчётлива.

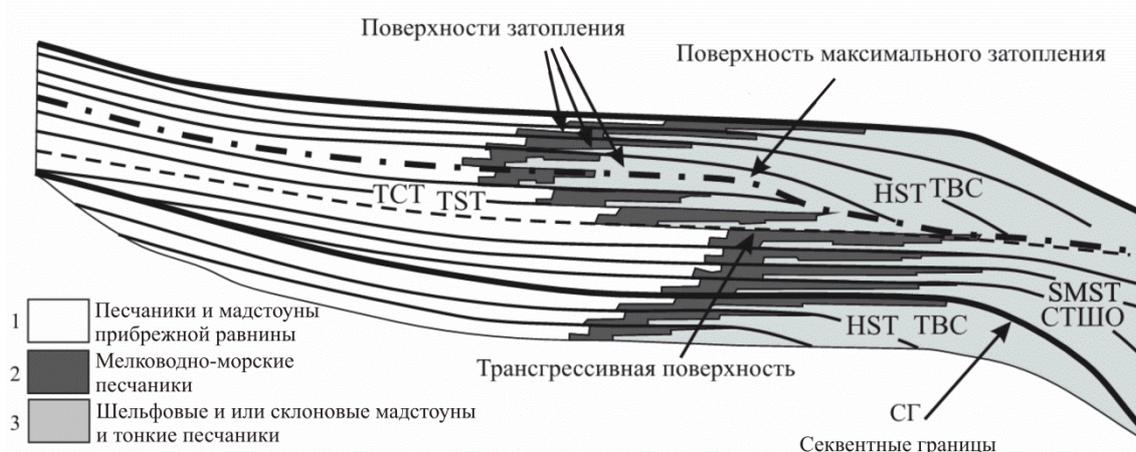


Рисунок 34 - Седиментационная модель секвенции второго типа (Van Wagoner et al., 1990).

5.16.2. Форма секвенсов

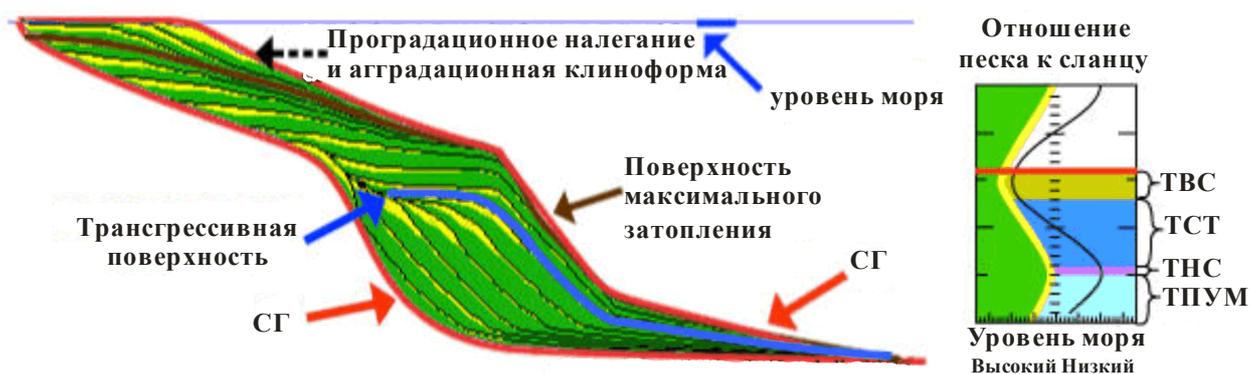
Форма секвенсов разнообразна - от *плоскопараллельных* и *линзовидных* тел до сравнительно крутонаклонных линзовидных тел – *клиноформ* (рис. 35).

Клиноформы - термин свободного пользования для клиновидных седиментационных тел с отчетливыми первичными наклонами слоёв; они формируются в склоновой части секвенса и сложены терригенными породами. Различаются клиноформы трактов низкого и высокого стояния уровня моря.

В крупных платформенных бассейнах (сотни тысяч и миллионы квадратных километров) клиноформы протягиваются вдоль окраин бассейна на сотни и даже тысячи километров при ширине в первые десятки километров. В таких бассейнах углы седиментационных наклонов слоёв достигают 5° . Наиболее ярким примером области распространения клиноформ является Западно-Сибирский бассейн, где развиты неоконские клиноформы.

Клиноформные серии - это группировки клиноформ, свойственные этапам заполнения некомпенсированных впадин. В этом случае клиноформы (при боковом наращивании) последовательно сменяют друг друга, омолаживаясь от областей питания к центру бассейна.

Картирование клиноформ имеет важное значение, так как они обычно содержат главные нефтегазовые резервуары. Приоритетна при таких работах сейсморазведка методом отраженных волн (МОГТ) с обязательным использованием каротажа, материалов по керну и биостратиграфических (палеонтологических) методов.



ТСТ – трангрессивная система трактов; ТВС – тракт высокого стояния;
СГ – секвентная граница; ТПУМ - тракт падающего уровня моря

Рисунок 35 - Схема, иллюстрирующая основные элементы секвенс-стратиграфического анализа (по Kendall, 2003).

5.16.3. Значение секвенс-стратиграфического метода

Значение секвенс-стратиграфического метода как одного из важнейших видов бассейнового анализа заключается в получении и анализе результатов сопоставления секвенс-стратиграфических схем различных осадочных бассейнов и глобальной эвстатической кривой колебаний уровня Мирового океана позволяет выявить влияние региональных причин образования секвенсов и эвстатические и эпейрогенические события разного порядка. Корреляция секвенс-стратиграфических схем требует биостратиграфического (палеонтологического), а иногда и магнитостратиграфического контроля.

5.16.4. Прослеживание секвенсов

Прослеживание секвенсов по данным сейсморазведки, керна и каротажа скважин, а также по наблюдениям в обнажениях позволяет создать детальную корреляционную схему, определить последовательную смену латеральных рядов фаций и воссоздать эволюцию осадочного бассейна или его крупных частей с достоверностью, превосходящей возможности других методов внутрибассейновой корреляции.

При корреляции секвенсов роль палеонтологических методов, помимо определения возраста слоёв и их стратиграфического положения, особенно важна при анализе отложений мелководного шельфа и глубоководных частей бассейна, где границы и геометрия слоёв не столь очевидны, как на склоне. Экологический анализ бентосных сообществ обеспечивает большую надежность разделения секвенсов на седиментационные полосы и выделения маркирующего уровня максимального затопления.

5.16.5. Основные преимущества метода

Основные преимущества метода секвенс-стратиграфии:

- а) корреляция осуществляется не на основе сопоставления отдельных точек-индексов, а на основании сравнения всего профиля седиментации;
- б) при стратиграфических исследованиях учитываются процессы и обстановки седиментации;
- в) большое внимание уделяется анализу вертикальных и латеральных границ осадочного тела, обеспечивающих хроностратиграфическую основу для корреляции и картирования осадочных комплексов.

Поскольку в основании лежит сейсмический метод, то для секвенс-стратиграфия характерны все его преимущества и недостатки.

5.16.6. Номенклатура и правила описания

Наименования секвенс-стратиграфических подразделений образуются из географического названия и термина, указывающего ранг единицы. Для

секвенса и его подразделений применяются также цифровые или буквенные обозначения.

Примеры. Саукский суперсеквенс; ивановский секвенс; пимская клиноформа; S-1 - первый (снизу) секвенс силура; K₂ gb-1 - первый (снизу) секвенс рыбновского стратиграфического горизонта.

Процедура установления, прослеживания и описания секвенс-стратиграфических подразделений, помимо требований, предъявляемых к другим категориям стратиграфических подразделений, должна базироваться на данных по распространению и особенностях несогласий и седиментационных поверхностей (максимального затопления, конденсации и др.), а также на седиментационной структуре и геометрии осадочных тел. Описание подразделений желательно сопровождать обсуждением природы выделенных границ, седиментационными моделями секвенсов, хроностратиграфическими схемами изученных разрезов и возможным вариантом их сопоставлений с глобальной секвенс-стратиграфической шкалой.

5.17. Событийно-стратиграфический метод

Событийная стратиграфия 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 приурочены к границам подразделений Международной (Общей) стратиграфической шкалы. 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.

Событийно-стратиграфический метод возникла в начале 70-х годов прошлого века. Термин «событийная стратиграфия» использовал Эджер (Ager, 1973) для корреляции тех или иных кратковременных событий, которые зафиксированы, в частности, в ленточных глинах, бентонитовых слоях и т.п. Понятие «событие» используется в таком случае для обозначения дискретных явлений или стадий того или иного прерывистого процесса. Были предложения, чтобы продолжительность самого события рассматривалась как 1/100 продолжительности изучаемого промежутка времени. Для стратиграфии особенно важны следы легко узнаваемых уникальных событий, хотя в различных типах разрезов они могут отражаться поразному.

История развития Земли имеет непрерывно-прерывистый характер и представляет собой периоды относительно стабильных условий,

сменяющихся эпизодами быстрых изменений. Эти изменения бывают 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.

5.17.1. Глобальные события

Глобальное событие в отличие от *процесса* - это всегда глубокое и относительно кратковременное изменение. Термин «*глобальное*» используется в том случае, если событие (абиотическое или биотическое) проявляется одновременно на разных палеоконтинентах (в сравнимых палеогеографических обстановках) и прослеживается в пределах биостратиграфической зоны. Среди множества событий и явлений выбираются те, которые в силу своей кратковременности и значительности ярко выделяются в разрезах при полевых наблюдениях и подтверждаются в результате последующих лабораторных исследований. Одно и то же событие может распознаваться по резким изменениям разных признаков: литологических, седиментологических, биотических, химических и др. Такие события или выделяемые по ним событийные уровни служат основными *реперами межконтинентальных корреляций* и распознавания большинства границ отделов и многих ярусов Международной или Общей стратиграфической шкалы.

К настоящему времени хронологическая последовательность в фанерозое включает около 60 глобальных событий различной значимости, которые в качестве хорошо датированных уровней могут быть использованы для точной корреляции. Среди них наиболее крупные или великие, как их часто называют, - события в конце докембрия, томмотского века кембрия, ордовика, франского века, девона, перми, триаса и мела, к которым приурочены массовые вымирания биоты. Эти события классифицируют как события первого порядка. Всего же по степени значимости событий условно выделяется пять категорий или порядков.

Последовательность глобальных событийных уровней фанерозоя часто называют *событийно-стратиграфической шкалой*. В формальном смысле она таковой не является, поскольку не имеет собственных событийно-стратиграфических подразделений. В этом плане её можно сравнить с магнитостратиграфической шкалой, основанной на событиях смены

магнитной полярности. Различаются две основные группы событий: абиотические и биотические.

Глобальные абиотические события фиксируются в стратиграфических разрезах по изменениям вещественного состава, структуры, текстуры, химических, физических и других седиментологических характеристик пород, по содержанию изотопов кислорода, углерода, стронция и серы, по проявлению продуктов эксплозивной вулканической деятельности. Иногда внезапные и резкие абиотические изменения, связанные с процессами, происходящими в земной коре, называются *геологическими событиями*.

К основным причинам абиотических событий относят особо значительные изменения уровня Мирового океана и климата, с которыми тесно связаны химические и физические свойства морской воды, поверхности Земли и атмосферы, приводящие к изменениям характера седиментации, биопродуктивности и эволюции биоты. Причинно-следственные взаимоотношения глобальных абиотических процессов и результирующих событий чрезвычайно сложны. Их последовательное или одновременное проявление воздействует на биоту и часто приводит к массовым вымираниям фауны и флоры.

Эвстатические изменения уровня Мирового океана, обусловленные климатическими изменениями, глубинными тектоническими процессами и другими причинами, приводят к глобальным регрессиям и трансгрессиям. В настоящее время на основе изучения разрезов крупных кратонов кривые изменения уровня моря реконструированы с большей или меньшей степенью достоверности практически для всех периодов фанерозоя. Седиментологические маркеры этих событий фиксируются в шельфовых и реже в пелагических фациях в виде перерывов, внезапных и отчетливых изменений литофаций (тип и состав пород, окраска и другие признаки).

Климатические события обычно являются следствием длительных, наложенных друг на друга процессов: эвстатических колебаний, образования срединно-океанических хребтов, перестроек систем океанических течений, изменения физико-химических свойств и глобального понижения температуры морской воды. В свою очередь они вызывают изменения таких океанографических параметров, как стратификация вод, колебания уровня бескислородного слоя, вертикальные конвекции и системы океанических течений, формирующих и меняющих вещественный состав и «органическое наполнение» осадочных толщ. Наиболее ярко выражены крупные гляциоэвстатические события, когда понижение глобальных температур приводит к крупным материковым оледенениям.

Геохимические события выражаются в накоплении повышенных концентраций иридия, смене позитивных и негативных содержаний $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$ и $^{87}\text{S}/^{86}\text{S}$. С ними связаны океанические бескислородные события и изменения океанической биопродуктивности. В фанерозое устанавливается более 60 глобальных уровней резких изотопных изменений, которые позволяют осуществлять удаленные корреляции.

Океанографические события связаны с нарушением океанической циркуляции и колебаниями уровня бескислородного слоя в толще воды. Они приводят к кратковременному, но глобально распознаваемому формированию прослоев черного сланца или темноцветных известняков в ассоциации с чёрным сланцем (мощность первые десятки сантиметров) среди более светлых карбонатных пород. Обычно их присутствие распознается в гемипелагических фациях, реже в более мелководных шельфовых обстановках. В этих прослоях фиксируются аномальные содержания стабильных изотопов углерода, кислорода, стронция и серы.

К *глобальным биологическим или биотическим событиям* относятся все внезапные или катастрофические события, затрагивающие биоту в границах определенного таксона (класса, отряда, семейства и др.), 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*. Однако такое разграничение терминов, особенно в западной литературе, по событийной стратиграфии не всегда соблюдается. Очень часто используется обобщенный термин «биособытие», смысл которого ясен только в определенном контексте.

Постепенное снижение биоразнообразия, происходящее в течение более длительного времени, когда скорость вымирания таксонов превышает скорость их появления, обычно определяется термином «кризис».

Как правило, глобальное биособытие вызывается сложным комплексом абиотических изменений, накладывающихся и усиливающих друг друга и влияющих на биотопы (рисунок). 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 трудны для реконструкции, особенно если абиотические события не проявляются в седиментологических последовательностях. Известны случаи, когда в монотонных разрезах первоначально распознается биособытие и только после этого устанавливаются малозаметные седиментологические изменения.

Сравнительные масштабы проявлений конкретных биособытий оцениваются по таксономическому рангу вымерших таксонов, а также по статистическим подсчётам общего количества вымерших, выживших и появившихся таксонов или по их процентному соотношению.

При анализе биособытий также учитываются эволюционный уровень и роль в палеоэкосистемах конкретных групп, затронутых событием.

Среди глобальных биологических событий наиболее распространены события массовых вымираний, появления новых морфологических структур

и следующие за ними 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 к палеоэкосистемам или палеогеографическим обстановкам. События массовых вымираний могут быть также избирательны по отношению к различным таксонам или экологическим группам организмов.

Обычно массовые вымирания дают начало регулярной эволюционной модели, которая включает следующую последовательность фаз: вымирание, выживание единичных консервативных таксонов и на их основе 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 диверсификация 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 освободившихся экологических нишах происходят в более продолжительные отрезки времени. События радиации также могут быть обусловлены морфологическими инновациями, возникшими до или в период массовых вымираний. В таких случаях интервал между появлением новой морфологической структуры и радиацией может соответствовать в разрезах одной-трем биостратиграфическим зонам, т. е. нескольким миллионам лет.

Диверсификации, следующие за биотическими перестройками, вызываются благоприятными для данного таксона изменениями обстановок, а внезапное увеличение разнообразия может также быть результатом событий иммиграции таксонов и следующих за ними эволюционных событий.

Хотя 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 или описано. События массовых вымираний чаще именуется по видовому названию датирующего их зонального таксона: событие *lundgreni* в позднем венлоке или событие *annulata* в позднем фамене. В большинстве случаев крупные абиотические

перестройки и связанные с ними массовые вымирания имеют одно и то же географическое или геохронологическое название.

5.17.2. Региональные события

Региональные абиотические и биотические кратковременные изменения, распознаваемые в конкретных регионах, могут быть усилены или затушёваны наложением на них глобальных событий.

В любом 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 таксономического разнообразия комплексов, в смене биофаций и других фиксируемых в разрезах биостратомических изменениях.

5.18. Биостратиграфический (палеонтологический) метод

Этот метод опирается на изучение ископаемых остатков организмов, то есть на палеонтологию и использует наряду с геологическими - биологические закономерности. Основу метода составляет закономерная необратимость эволюции органического мира. При этом полагается, что возникновение новых форм и их расселение на больших территориях протекает в геологическом смысле практически мгновенно (особенно по сравнению с длительностью формирования стратиграфических подразделений).

Главное преимущество биостратиграфического метода заключается в неповторимости палеонтологической летописи. Широкое пространственное распространение многих форм, допускает корреляцию на основе этого метода отделённых друг от друга разрезов.

Объектом биостратиграфических исследований являются ископаемые остатки организмов и толщи осадочных пород, в которых они заключены. Биостратиграфические работы включают в себя несколько этапов:

- 1) сборы, определение, детальное изучение и описание ископаемых остатков;
- 2) изучение распределения ископаемых остатков по разрезу (вертикальное распределение);
- 3) изучение последовательности комплексов ископаемых остатков в нескольких разрезах;
- 4) изучение закономерностей сочетания ископаемых остатков в комплексах (ассоциациях);
- 5) изучение латеральных изменений комплексов и выявление их зависимости от фациальных изменений.

Большое значение при биостратиграфических исследованиях имеют особенности захоронения остатков организмов. Изучение таких особенностей составляет предмет специальной отрасли палеонтологии - тафономии, основателем которой является И.А. Ефремов.

Биостратиграфическим методом осуществляются расчленение разрезов, то есть выделение в них стратиграфических подразделений, корреляция этих подразделений и обоснование возраста. В конечном счете, разрабатываются стратиграфические схемы, основу которых составляют как стратиграфические подразделения комплексного содержания, в которых 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 (Международной) стратиграфической шкалы. Для расчленения отложений этот метод, как правило, используется в сочетании с литологическим методом и некоторыми геофизическими методами.

5.18.1. Принципиальные основы палеонтологического метода в стратиграфии

Закономерности эволюционного процесса. При рассмотрении закономерностей эволюции необходимо иметь в виду тот значительный разрыв в оценке отдельных обобщений, который существует в этой области. Одно и то же положение рассматривается зачастую одними авторами в качестве закона эволюции, тогда как другие квалифицируют его только как эмпирическое обобщение или правило. Ниже мы рассмотрим ряд таких положений, имеющих первостепенное значение для биостратиграфии.

Необратимость эволюции. В качестве принципиальной первоосновы использования биостратиграфического метода в стратиграфии используется

закон необратимости эволюции. В биологии это положение было выдвинуто в качестве «закона эволюции» в 1893 г. Л. Долло, предложившим для него следующую формулировку: *«Эволюция - процесс необратимый, и организм не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществлённому в ряду его предков»*. По Ч. Дарвину этот закон звучит так: *«Группа, однажды исчезнувшая, никогда не появляется вновь; другими словами, её существование, пока она вообще сохраняется, не имеет перерывов»*.

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

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

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

Прогрессивная специализация филогенетических ветвей (правило Ш. Депере). Специализация или теломорфоз по И.И. Шмальгаузену, означает узкое приспособление к частным условиям существования, при котором связи организма со средой становятся более ограниченными, что вызывает одностороннее развитие некоторых органов и частичную редукцию других. Прогрессивная дифференциация при специализации ограничивается теми частями организма, которые его связывают со своеобразными условиями данной частной среды. При специализации не происходит общего повышения уровня организации, которая в целом остается на одном уровне или иногда даже испытывает некоторое упрощение. Специализация проявляется тем резче, чем своеобразнее та особая среда обитания, к которой приспособился организм.

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

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

Увеличение размеров тела в филогенетических ветвях («правило Э. Копа - Ш. Депере»). Общая тенденция к увеличению размера тела в ходе филогенеза была выявлена в конце XIX 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 (правило Э. Копа). Суть этого правила заключается в том, что новые крупные группы организмов берут своё начало не от высших представителей предковой группы, а от сравнительно примитивных, неспециализированных. Это объясняется тем, что неспециализированные организмы легче переходят из одной среды в другую в силу их устойчивости к переменам. Жесткие требования среды и конкуренция вызывают к жизни соответствующие приспособления, которые оказываются перспективными и выводят новую группу на путь их совершенствования.

Однако это правило оказывается далеко не всеобщим. Специализация редко затрагивает в равной степени все органы и функции организма. Остающиеся неспециализированными органы и системы могут открыть группе дорогу в другую адаптивную зону. С другой стороны, признаки, специализированные в одной среде, могут быть неспециализированными в другой. То есть при определенных условиях и неспециализированные, и специализированные формы могут стать родоначальниками новых, прогрессивных ветвей древа жизни.

5.18.2. Проблема неограниченности эволюционного процесса

Вопрос о том, ограничен ли эволюционный процесс или же не ограничен, является дискуссионным. Ограничимся здесь лишь

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

Указанным выше представлениям о неограниченности эволюции противостоят концепции, утверждающие в той или иной форме ограниченность органической эволюции. Например, к числу их относится теория филогеронтизма (старения филогенетических ветвей). К лимитированным концепциям относятся также представления о «тупиках сверхспециализации», «прогрессирующем уменьшении изменчивости» и т.п.

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

5.18.3. Проблема направленности эволюционного процесса

Проблема направленности эволюции в настоящее время ещё не получила однозначного решения и требует дальнейшей разработки, хотя имеет первостепенное значение как для биологии, так и для стратиграфии, в частности для установления геологического возраста и синхронизации отложений по уровню эволюции. Таким образом, решение проблемы направленности эволюции является важной задачей эволюционного учения.

Так, например, Дарвинизм признаёт, что эволюция происходит путем отбора из практически неисчерпаемого материала изменчивости. Иная точка зрения утверждает, что материал изменчивости ограничен, у организмов есть

тенденция изменения в определённом направлении, которая в первую очередь и детерминирует направление эволюции. Как кристаллы растут, принимая определённую форму, так и филогенетические линии растут, следуя каким-то имманентным закономерностям. Эту идею чаще обозначают как «ортогенез» - развитие в определённом направлении, хотя существуют и другие названия, такие как номогенез, автогенез, автоэволюция, батмизм и др. Есть и другое понимание термина «ортогенез»: когда родственные группы организмов можно представить как ряды превращений в определённом направлении (Попов, 2003, 2006).

Мысль об эволюции в определенных направлениях озвучивалась многократно. Она сочеталась с ламаркизмом, сальтационизмом, неodarвинизмом и другими эволюционными представлениями. Нет ни одного автора, которого можно было бы назвать первым или основным автором концепции направленной эволюции. Даже в литературе по истории науки приводятся разные ссылки на первоисточники этой концепции. К настоящему времени известно уже не менее двадцати теорий, которые в какой-то степени связаны с ортогенезом (Попов, 2003, 2006).

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

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

2. Конвергенции и параллелизмы, то есть черты сходства между организмами, принадлежащими к разным таксонам. Например, некоторые группы цефалопод и фораминифер демонстрируют большое сходство в строении спирально закрученных раковин, что не объясняется родством или приспособлением их к одинаковым условиям.

3. Ограничения изменчивости: реальное число вариантов изменчивости меньше теоретически ожидаемого. Например, в отличие от куриц, нельзя вывести гусей с хохлами, с большими хвостами, шпорами и т.п.

4. Существование направлений эволюции, которые ведут к вымиранию, и инерция в эволюции. Хорошо известны случаи, когда группы эволюционируют в определенном направлении, даже если направление нерационально. Например, у нескольких групп мшанок отмечена общая особенность, а именно, в процессе эволюции количество кальция

увеличивается, стенки скелета каждой особи колонии становятся толще, пространство для внутренних органов уменьшается, жизнь мшанок делается невыносимой, и они вымирают. Создается впечатление, что они не способны эволюционировать как-то иначе или не эволюционировать вовсе и сами себе строят могилу.

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

Адаптации, внешне производящие впечатление направленности, реализуются в ходе эволюции почти всех достаточно подробно изученных филогенетических стволов. Палеонтология имеет много примеров того, как эволюция целых групп организмов на протяжении десятков миллионов лет шла в определённом направлении. Хорошо известный пример такой эволюции - это эволюция лошадей. Их предок, гиакотерий, был высотой 35 см в холке и имел четыре пальца на передних конечностях и три - на задних. Но чем ближе к современности, тем больше ископаемые представители этой группы становятся похожи на нынешних лошадей. Подобные факты приводили многих палеонтологов к выводу о направленной изменчивости организмов. Но ведь согласно эволюционной теории наследственная изменчивость не имеет направленности. Тогда как же это объяснить? Дело в том, что эволюция в таких ортогенетических рядах становится направленной оттого, что её лимитирует естественный отбор, а не оттого, что направлена наследственная изменчивость. Если на протяжении миллионов лет отбор действует примерно в одном направлении (такой отбор называется ортоселекцией), то результат будет почти таким же, как если бы направлена была исходная наследственная изменчивость. В приведённом выше примере с лошадиными ортоселекция действовала в сторону приспособления их к быстрому бегу и травоядности в условиях открытых пространств. То, что мы имеем дело с направленным отбором, а не направленной изменчивостью, подтверждают факты постоянного ответвления от основного ствола лошадиных различных боковых ветвей. Вымирание этих боковых линий придало картине эволюции лошадиных направленный характер.

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

У проблемы направленности в эволюции есть и второй аспект. Это существование тех или иных эволюционных «запретов», обусловленных механизмами онтогенеза. Например, у червеобразного существа практически отсутствуют онтогенетические предпосылки для формирования крыльев, но такие предпосылки есть у млекопитающих. У человека нет онтогенетических предпосылок для возникновения кисточки на кончике хвоста потому, что у него нет развитого хвоста, но такие предпосылки имеются у других млекопитающих с развитым хвостом. Эти примеры демонстрируют, что изменчивость свойств и признаков у любого вида живых организмов всегда ограничена.

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

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

Из всего вышесказанного можно заключить, что в основе направленности эволюции организмов лежит, с одной стороны, направленное действие естественного отбора на протяжении значительного числа поколений, а с другой - система запретов, обусловленная организацией данной группы. Таким образом, современная эволюционная теория не исключает явление направленности в эволюционном развитии, а подчеркивает его как необходимое следствие характера протекания процесса эволюции. Нельзя не отметить, что направленность эволюции выявляется только при изучении путей развития целых таксонов, состоящих из большого

числа видов. Она имеет вероятностную природу. Эволюционная судьба каждого отдельно взятого вида во многом определяется случайными факторами (Татаринов, 1987).

5.18.4. Адаптиогенез и его основные формы

Как показал еще Ч. Дарвин, эволюционный процесс всегда имеет адаптивный характер, обусловленный одним из основных факторов эволюции - действием отбора. Согласно определению А.А. Парамонова (1967), 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 морфофизиологических адаптаций, но и генетических, которые заключаются в повышении генетического многообразия. Последнее обеспечивает новые направления адаптиогенеза на новую жизненную форму при движущем (обновляющем) отборе или же, напротив, постоянство жизненной формы при возрастающем генетическом многообразии в случае стабилизирующего отбора. Обе формы отбор диалектически взаимосвязаны.

Изменения соотношений движущего и стабилизирующего отбора в непрерывном потоке адаптиогенеза становятся источником трансформаций форм или направлений последнего.

В качестве основных форм или направлений адаптиогенеза принимаются следующие: арогенез, аллогенез, телегенез, гипергенез, катагенез и гипогенез (педогенез), на краткой характеристике которых остановимся.

Арогенез. Под арогенезом понимается такой тип эволюционного развития, при котором происходит усложнение организации, поднимающее её 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.

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

Телегенез. Под телегенезом понимают 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.

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

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

Педогенез (гипогенез). Явление закреплённой отбором наследственной неотении. Неотения как случайное или даже обычное, но необязательное явление («факультативная неотения») известна, например, у многих хвостатых амфибий. Она заключается в достижении 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.

5.18.5. Неравномерность эволюционного процесса

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.

Так как в проблеме неравномерности эволюции намечается два главных аспекта неравномерность темпов развития одной группы и неравномерность темпов эволюции различных групп, то целесообразно рассмотреть каждый из них в отдельности. Обратимся вначале к первому из этих аспектов изменению темпов эволюции отдельных групп. Данные изучения различных групп организмов указывают на то, что в истории каждой группы имело место периодическое ускорение и замедление темпа эволюционного процесса, то есть наблюдалось чередование эпох ускоренного и замедленного развития. Первые нередко обозначаются как фазы или эпохи *тахигенеза*, а вторые как эпохи *брадигенеза*.

Так, например, ароморфозы являются фазами, характеризующимися значительным ускорением темпов эволюции по сравнению с более длительными периодами идиогенезов, в течение которых темпы развития обычно замедляются. Но если в качестве критерия оценки темпов эволюции

принять скорость таксономической дифференциации, то есть число таксонов, появляющихся в единицу времени, то окажется, что периоды ускоренного развития не всегда совпадают с фазами арогенеза и в некоторых случаях не связаны с общим повышением уровня организации эволюирующей группы. Фазы ускоренного развития, проявляющиеся вспышками дифференциации высших таксонов, называют *эксплозивными* («фазы взрывной эволюции») периодами расцвета или *анастрофами*. О. Шиндевольф обозначал анастрофы как периоды *типогенеза*. В.А. Красилов (1977) отмечал, что анастрофические фазы далеко не всегда совпадают с фазами наибольшего таксономического разнообразия соответствующего филума, поскольку последнее зависит от соотношения вновь появляющихся и вымирающих таксонов.

Фазы ускоренного развития (анастрофы) обычно сменяются периодами замедленной эволюции, характеризующимися относительной стабильностью эволюирующей ветви и, как правило, усиленным видообразованием, нередко достигающим в эти периоды максимума.

В периоды замедленной эволюции, отвечающие идиогенным формам адаптиогенеза с преобладанием телегенеза, эволюирующая группа часто достигает максимума видового разнообразия, связанного с установлением динамического равновесия между возникновением и вымиранием видов. Эти периоды постепенного развития и замедления темпов эволюции обозначаются то как этапы процветания, то как стадии эволюционного расцвета. По терминологии О. Шиндевольфа они относятся к фазе *типостаза*.

Периоды замедленной эволюции филума обычно более или менее длительные, прерываются либо новой арогенной фазой с сопутствующими ей общим подъёмом морфофизиологического уровня и адаптивной радиации группы, либо фазой упадка, или кризиса, сопровождающейся явлениями усиленной специализации и вымиранием узкоспециализированных форм. Эти критические фазы обозначаются как фазы эволюционного упадка, эволюционного регресса, кризиса. О. Шиндевольф называл их фазой *типолиза*. В одних случаях эти фазы завершаются полным вымиранием филума, в других случаях после преодоления кризиса эволюирующей группой может наступить новый период её эволюционного процветания (Степанов, Месежников, 1979).

5.18.6. Периодичность и этапность в развитии организмов

В развитии органического мира в целом и отдельных групп и филумов в 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 объёма и границ хроностратиграфических подразделений.

Этапность развития органического мира в целом и эволюции отдельных филумов принципиально отличается от периодичности, так как 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 этажей её эволюции. Вторым критерием могут служить изменения темпов эволюции группы. Общие положения этапности:

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

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

3. Рубежи этапов и подчинённых им стадий определяются обычно ароморфными преобразованиями различного масштаба, в то время как в пределах отдельных этапов и стадий эволюция протекает преимущественно инадаптивно.

4. 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.

5.18.7. Распространение ископаемых организмов в разрезе

Исходным материалом для биостратиграфического анализа являются данные о распределении в разрезе ископаемых остатков организмов. Последние, за исключением, пожалуй, биогермов и ракушнякав, представляют собой включения в слое.

Иногда в разрезе находится очень большое количество остатков организмов (то есть 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, так как 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 определённые правила:

- 1) сборы должны быть по возможности исчерпывающими (то есть 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 встречаться. Должны соблюдаться следующие правила при сборе:

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.

5.18.8. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии

Из-за неодинаковых темпов эволюции различные группы фауны и флоры они имеют различное значение для биостратиграфии. Одни группы эволюционировали быстро и так же быстро расселялись в морях и океанах или на континентах. Другие эволюционировали медленно, имели ограниченные области распространения и часто были тесно связаны с определёнными локальными условиями существования. Первые именуется *ортостратиграфическими* (или *архистратиграфическими*). Они наиболее важны для биостратиграфических целей. По ним строятся дробные зональные схемы биостратиграфического расчленения, использующиеся для широкой, в ряде случаев глобальной корреляции. Преимущественно это планктонные или нектонные формы организмов (фораминиферы, радиолярии, головоногие моллюски, граптолиты, конодонты, рыбы и т.д.). Вторые, медленно эволюционирующие или *парастратиграфические* группы, используются обычно для определения возраста отложений в больших интервалах стратиграфических схем и для разработки местных стратиграфических схем, в которых собственно биостратиграфическое расчленение сочетается с литостратиграфическим. Многие, особенно длительно развивающиеся, группы не имеют стратиграфического значения для отложений, образовавшихся в начале их развития и во время угасания, но становятся архистратиграфическими в осадках, которые образовались во время их расцвета и широкого расселения. Обычно это бентосные формы (кораллы, губки, мшанки, трилобиты, брахиоподы, бивальвии и т.д.).

Для каждого периода обычно устанавливаются одна или две архистратиграфические группы, на которых строится дробное биостратиграфическое расчленение соответствующих систем. Остальные группы при этом имеют вспомогательное значение. Ниже приведём общую характеристику стратиграфического значения некоторых наиболее важных групп организмов.

Бактерии - микроскопические, преимущественно одноклеточные организмы, распространённые повсеместно в почвах, водах, грунтах водоёмов, воздухе и т.д. Самые ранние из них обнаружены в породах древнее 3,5 млрд лет. Результатом скопления продуктов жизнедеятельности бактериальных организмов является образование значительной части карбонатных пород и железистых руд протерозоя.

Цианобактерии - единственные известные бактерии способные к кислородному фотосинтезу - относятся к числу наиболее сложно организованных и морфологически дифференцированных прокариотных микроорганизмов. Встречающиеся в ископаемом состоянии колонии носят название *строматолитов* и *онколитов* (последние отличаются концентрическим строением и округлой формой). Имеют большое значение для стратиграфии докембрия; являются древнейшими рифостроителями.

Остатки растений. Различные части растений захороняются обычно по отдельности и изучаются разными специалистами. Поэтому палеоботаника разделилась на ряд разделов как по систематическим группам (микроскопические водоросли, высшие растения), так и по остаткам определённых частей растений (палеопалинология, палеокарпология и др.).

Микроскопические водоросли. В основном изучаются диатомовые, золотистые и динофитовые водоросли, объединяемые общим понятием «нанопланктон», и докембрийские водорослевидные образования - акритархи.

Диатомовый анализ имеет большое значение для стратиграфии кайнозойских отложений всех частей света. Диатомеи известны с юры до настоящего времени. Важное значение имеют для морских отложений. Разработаны зональные океанические шкалы, по которым расчленяются кайнозойские отложения, и проводится межрегиональная корреляция. Квартер и неоген представлены с большей детальностью, чем палеоген. С олигоцена диатомовые водоросли характеризуются большей степенью провинциализма (эндемичности). Зональное расчленение плейстоцена по бентосным центрическим диатомеям проведено в пресноводном озере Байкал. Диатомеи являются важными показателями фациальных обстановок и палеоклимата.

Золотистые водоросли представлены кокколитофоридами. Достоверно известны с юрского периода. По ним стали определять геологический возраст пород с середины двадцатого века. Используются для расчленения и корреляции отложений различных континентов. Создана зональная шкала кайнозоя по известковому нанопланктону. Для меловых отложений шкала кокколитофорид отвечает только ярусному уровню.

Отдел *динофитовых водорослей* объединяет представителей нескольких морфологических типов, из которых доминирует монадный - одноклеточные двужгутиковые организмы. При неблагоприятных условиях образуют цисты. В ископаемом состоянии обычно они и сохраняются.

Составляют значительную часть планктона пресных водоёмов и морей. Ископаемые формы известны с силура.

Акритархи - микроскопические ископаемые остатки одноклеточных (или кажущихся одноклеточными) организмов, характеризующиеся наличием органической оболочки и центральной полости, разновидность палиноморф. Описаны из отложений начиная с протерозоя. Геохронологическое распространение акритарх берёт начало из докембрия. Максимальное распространение наблюдается с раннего кембрия. Имеет место существенное сокращение акритарх в позднем палеозое. Затем новая адаптивная радиация в юре, и очередное сокращение, наряду с крупным вымиранием фитопланктона в целом в позднем мелу. Имеют большое значение для стратиграфии верхнего докембрия и нижнего палеозоя.

Пыльца и споры в виде микроскопически стойких к разрушению оболочек, а также массулы растений, ценобии водорослей, оогонии харовых водорослей являются объектами палинологического метода. Прекрасно сохранившиеся в ископаемом состоянии почти из всех отложений (континентальных, лагунных и морских) геологического прошлого (от докембрия и до настоящего времени) эти объекты дают возможность проводить непосредственную корреляцию разных по литологическому составу и происхождению отложений, в чём и состоит огромное преимущество палинологического метода перед другими палеонтологическими методами. Используемая в настоящее время световая и электронно-сканирующая микроскопия повысила роль этого метода в большей точности установления таксономической принадлежности спор и пыльцы, их эволюции во времени. Результатом палинологического анализа является определение состава спорово-пыльцевых спектров и палинокомплексов, выявленных в осадочных породах, что позволяет использовать данные для определения возраста отложений, разработки стратиграфических схем, корреляции геологических разрезов и восстановления физико-географических условий прошлого: характера флоры и растительности, зональности, распространения экзотических форм, миграции растений, изменения климата, развития палеоводоёмов, особенности осадконакопления, влияния антропогенного фактора на естественную природную среду, районирования территорий по составу спорово-пыльцевых спектров с учётом общих, региональных и локальных факторов.

Плоды и семена растений (преимущественно травянистых), мегаспоры папоротникообразных - объекты исследования палеокарпологии, основной задачей которой является изучение их строения (морфогенез) и развития (онтогенез), а также разработка классификации растений. Возрастной диапазон применения палеокарпологии пока ограничен (неоген и квартер).

Метазоа. Это остатки бесскелетных многоклеточных животных, которых в массовых количествах в докембрии стали находить лишь 30 - 40 лет назад. Сейчас они известны в десятках местонахождений на всех

континентах. Представители метазоо хорошо сохраняются в виде слепков и отпечатков в различных тонкослоистых породах в широком спектре фаций в терригенных толщах. Число описаний видов бесскелетных постоянно растёт.

Экологическая и морфологическая однотипность бесскелетной фауны, крупные размеры окаменелостей (от долей сантиметра до метра и более) и обилие находок сделали её надёжным инструментом корреляции эдиакарских (вендских) отложений в глобальном масштабе. Максимум разнообразия этой фауны приходится на среднюю часть эдиакария. В верхней части эдиакария остатки бесскелетных встречаются редко, что связывается с вымиранием многих групп.

Простейшие. Стратиграфическое значение имеют простейшие, строившие при жизни минеральный скелет, способный сохраняться в ископаемом состоянии. Это фораминиферы, радиолярии и тинтиниды.

Фораминиферы - одноклеточные микроскопические породообразующие (карбонатные глины, мергели и органогенные известняки, известковистые алевролиты), преимущественно морские организмы, редко встречающиеся в песках, песчаниках, гравелитах, глинах. Древнейшие ископаемые животные известны с кембрия (первоначально с однокамерной раковины, позднее - с известковой многокамерной), расцвета достигли в карбоне - перми, когда появились фузулиниды и близкие к ним формы, раковины которых после отмирания организмов образовывали значительные по мощности слои фузулиновых известняков. В конце палеозоя эти группы вымерли, а в мезозое - кайнозое (мел и палеоген) появились новые группы, среди которых наиболее известны нуммулиты, обладавшие крупной монетовидной раковинной. Фораминиферы используются для дробного (зонального) расчленения каменноугольных, пермских, мезозойских и кайнозойских отложений.

Радиолярии - одноклеточные, чаще микроскопические породообразующие (кремнистые или яшмовые толщи) организмы. Известны с докембрия, имели распространение в палеозое и мезозое, но наиболее типичны для кайнозоя. Остатки радиолярий встречаются во всех типах морских осадков, но наилучшей сохранности они бывают в глинистых сланцах, алевролитах и различных кремнистых породах с глинистыми или железистыми примесями. Радиолярии используются главным образом в стратиграфии мезо-кайнозойских отложений, но в последнее время они применяются и в стратиграфии палеозойских отложений, особенно при изучении кремнистых (яшмовых) толщ, в которых они часто являются единственными органическими остатками.

Тинтиниды - отряд современных и вымерших простейших из класса ресничных инфузорий (Ciliata). Имеют тонкий панцирь микроскопических размеров в виде колокольчика или трубки, у ископаемых форм построен из кальцита. По остаткам тинтинид (кальпионелл) разработана зональная шкала верхов юры и нижнего мела Тетической области. Находки мезозойских тинтинид приурочены к пелагическим карбонатным фациям;

палеогеновые формы характерны для мелководных (~ 50 м) морских бассейнов; современные тинтиниды составляют значительную часть морского зоопланктона, некоторые являются пресноводными. Ордовик (?) - девон - ныне.

Хитинозои - органостенные планктонные, возможно и бентосные, морские микроорганизмы, биологическая принадлежность которых до сих пор остается дискуссионной. В палинологических препаратах хитинозои наблюдаются в виде бутылко-, колбо- или флягообразной формы, размером от 100 до 1500 мкм. Обычно их стенки тонкие чёрные, бесструктурные, но могут быть жёлтого или коричневого цвета. Состав оболочек – псевдохитин или хитин. Хитинозои относят к микрофоссилиям животного происхождения. Они имеют большое значение для детальной стратиграфии и корреляции верхнекембрийских - девонских отложений в платформенных областях.

Археоциаты - вымершие, в большинстве своём колониальные, морские животные, ведущие прикрепленный образ жизни. Они являются породообразующими (органогенные известняковые постройки) организмами и руководящими ископаемыми в биостратиграфии низов кембрия. Они используются для характеристики горизонтов и для дробного расчленения отложений на зоны в региональных схемах нижнего кембрия Сибири, севера Африки и других областей. Археоциаты – первые рифостроители в истории Земли из фауны скелетных беспозвоночных. Они служат, как правило, для корреляции и расчленения карбонатных отложений.

Книдарии. Многоклеточные преимущественно морские животные; свободноплавающие (медузы) или ведущие прикреплённый образ жизни (полипы). В ископаемом состоянии сохранились представители трёх классов - гидроидных, сцифоидных и коралловых полипов. Отпечатки древнейших бесскелетных книдарий известны начиная с эдиакария. Наибольшее разнообразие в палеозое имеют табулятоидеи и ругозы, а в мезозое - кайнозое - шести- и восьмилучевые кораллы, которые сменяют вымершие группы. Являются породообразующими организмами, участвуют в создании рифов, играют важную стратиграфическую роль.

Сколекодонты - ископаемые остатки челюстей хищных многощетинковых червей. Имеют вид чёрных зазубренных искривленных пластинок размером от 0,3 до 3 мм. Состоят из органического вещества и кремнезёма. Чаще всего встречаются в отложениях ордовика, силура и девона, для которых имеют важное стратиграфическое значение.

Членистоногие. Важное стратиграфическое значение среди этого типа имеют трилобиты, остракоды и насекомые.

Трилобиты являются наиболее важной архистратиграфической группой для кембрия и ордовика. На них основывается зональное расчленение всех биостратиграфических схем этих систем. Существует зональное расчленение по трилобитам всех биостратиграфических схем кембрия. В ордовике они сохраняют своё значение в качестве важной

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

Остракоды относятся к микропалеонтологическим представителям фауны и развиты от нижнего кембрия до современных отложений. Ценность их заключается в том, что они встречаются в различных фациях: нормально-морских, солоновато-водных и пресноводных. Особенно они важны для стратиграфии девонских и каменноугольных отложений, в которых разнообразны и многочисленны. Разработаны зональные схемы расчленения ордовикских, силурийских, девонских и каменноугольных отложений Восточно-Европейской платформы, Урала, Сибири и Северо-Востока России. Большое значение они имеют для корреляции региональных и местных стратиграфических подразделений. Мелкие размеры раковин этих организмов и их многочисленность в карбонатных, глинистых и песчаных разновидностях пород делают их незаменимыми в стратиграфии нефтеносных, газоносных и угольных отложений, вскрытых бурением.

Насекомые - это наземные членистоногие, у которых тело явно разделено на голову, грудь и брюшко, а основные, служащие для передвижения, конечности находятся в числе трёх пар на грудном отделе. Единичные их остатки известны со среднего девона, более многочисленными они становятся с середины карбона (преимущественно вымершие палеодиктиоптеры, гигантские стрекозы, таракановые и др.); в перми появились первые жуки, скорпионницы и др., в триасе - первые перепончатокрылые, в юре - отмечено обилие жуков, двукрылых. С раннего мела появились многие новые семейства, формировавшие фауну насекомых кайнозоя, которая уже с палеогена мало отличалась от современной. Весьма часты находки насекомых в янтаре. Энтомофауна разных климатических зон резко различается, вследствие чего насекомые чаще всего используются для палеоклиматических реконструкций и географического районирования материков. Насекомые имеют важное значение в стратификации континентальных отложений палеозоя, мезозоя и кватертера.

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

Двустворчатые моллюски появились в кембрии и были распространены в мезозое и кайнозое, заселяя преимущественно мелководные зоны морей, реже пресноводные бассейны. Такие их группы, как галобииды, монотиды, характерны для триаса, отапирии - для верхнего триаса и нижней юры, митилоцерамы - для средней юры, бухииды - для верхней юры неокома, иноцерамы - для мела, имеют очень большое значение

в разработке автономных зональных стратиграфических шкал. Для целей региональной и местной стратиграфии важны пектинида, тригонида и др.

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

Головоногие моллюски - наиболее высокоорганизованные животные среди беспозвоночных. В ордовике и силуре наряду с другими группами фауны определённую роль для расчленения и корреляции региональных и местных стратиграфических подразделений играют наутилоидеи, эндоцератоидеи, ортоцератоидеи и актиноцератоидеи. Комплексы примитивных аммонитов с гониатитовой лопастной линией (гониатитов) являются определяющими в характеристике большинства ярусных подразделений девонской, каменноугольной и пермской систем, а в некоторых случаях используются для их более дробного зонального расчленения. Наряду с ними, в стратиграфии верхнедевонских отложений большое значение имеют климении. В стратиграфии верхней перми и триаса ведущая роль принадлежит аммонитам с цератитовой лопастной линией (цератитам): на них строится зональное расчленение этих систем. Начиная с верхнего триаса и до конца мезозоя аммоноидеи со сложной (аммонитовой) лопастной линией являются главной группой фауны, позволяющей наиболее детально (до зон) расчленять морские отложения, определять их возраст и проводить широкие межрегиональные корреляции. Для расчленения юры и мела огромное значение имеют также белемниты.

Тентакулиты - это вымершие морские организмы, от которых в ископаемом состоянии обычно сохраняются маленькие узко-конические, редко спирально-конические (от 2 - 5 до 30 мм) известковые раковины. Тентакулиты существовали с силура по пермь. Широко были распространены в силурийском и девонском периодах. Имеют значение для стратиграфии девонских отложений.

Мшанки. Исключительно колониальные, в подавляющем большинстве морские, реже пресноводные животные, прикрепляющиеся к субстрату. Колонии мшанок имеют различную форму (часто моховидную) и состоят из большого числа микроскопических особей (зооидов), каждый из которых заключён в известковую, хитиноидную или студенистую ячейку (зооций). Появились в ордовике и существуют до наших дней. Обитают в основном в морских бассейнах различной солёности и глубин на всех широтах, гораздо реже - в пресноводных водоёмах. Имеют стратиграфическое, палеогеографическое и породообразующее значение.

Брахиоподы. Для палеозоя это наиболее распространённая группа ископаемой фауны. Наибольшее стратиграфическое значение для расчленения и корреляции имеют замковые брахиоподы. Но в последнее

время всё больше используются и беззамковые. Для обоснования кембрийского возраста отложений замковые брахиоподы являются вспомогательной группой, а с ордовика и до конца палеозоя - важнейшей группой бентосной фауны, которая широко используется в региональной стратиграфии. Они наряду с другими группами фауны служат основой для выделения горизонтов в региональных биостратиграфических шкалах. В мезозойских отложениях брахиоподы встречаются реже и используются для выделения горизонтов в пределах отдельных зоогеографических провинций.

Иглокожие. Одиночные морские животные, большинство из которых ведёт донный подвижный или прикрепленный образ жизни. Скелет состоит из известковых табличек с шипами, расположенных в стенке тела. Тело имеет разнообразную форму, для которой обычно характерна пятилучевая симметрия. В ископаемом состоянии иглокожие известны начиная с эдиакария и до настоящего времени. Тип делится на четыре подтипа, которые, в свою очередь, делятся на классы. Важнейшими из классов являются цистоидеи (морские пузыри), бластоидеи (морские бутоны), криноидеи (морские лилии) и эхиноидеи (морские ежи). Имеют важное стратиграфическое и породообразующее значение: цистоидеи - для ордовика, бластоидеи - для силура - перми, криноидеи - для палеозоя и мезозоя, эхиноидеи - для мезозоя и кайнозоя.

Граптолиты - группа вымерших колониальных животных типа полухордовых, известная с кембрия до карбона и являющаяся руководящей с ордовика по нижний девон. В осадках открытых морских бассейнов остатки этих организмов особенно многочисленны в тёмных глинистых (графтолитовых) сланцах, встречаются они и в других типах терригенных, кремнистых и слоистых карбонатных пород, а также в некоторых метаморфизованных горных породах.

Конодонты - класс вымерших животных из типа хордовых, внешним обликом были похожи на современных угрей. Многие десятилетия (до начала 1980-х годов) они были известны только по микроскопическим (0,1- 1 мм) окаменелостям зубовидных скелетных остатков, обнаруживавшимся в морских осадках различного геологического возраста (от позднего кембрия до позднего триаса включительно), которые, собственно, и называли конодонтами (в настоящее время их называют *конодонтовыми элементами*). При этом было установлено, что группа конодонтов объединяет ископаемые скелетные элементы, принадлежавшие различным группам животных, - протоконодонты, параконодонты и эуконодонты. Самих животных теперь также называют *конодонтоносителями*, чтобы избежать смешения понятий. Благодаря быстрому эволюционному изменению морфологии зубных элементов конодонтов они широко используются для биостратиграфии и целей геологического картирования. В настоящее время это главная ортостратиграфическая группа ископаемых, на основе которой проводится зональное расчленение отложений палеозоя и триаса. Конодонты встречаются во всех типах морских осадков: в терригенных, кремнистых и

карбонатных отложениях. Но наибольшее значение они приобретают в терригенных и кремнистых осадках (в яшмах, фтанитах). Они широко используются для изучения стратиграфии кремнисто-вулканогенных отложений преимущественно морских фаций. Раннетриасовые комплексы конодонтов очень однообразны во многих регионах, это позволяет проводить межрегиональную корреляцию разрезов триаса. Цвет конодонтов изменяется при повышении температуры (от чёрного до белого), что указывает на связь с углеводородами, так как при температуре выше 360°C углеводороды разрушаются.

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

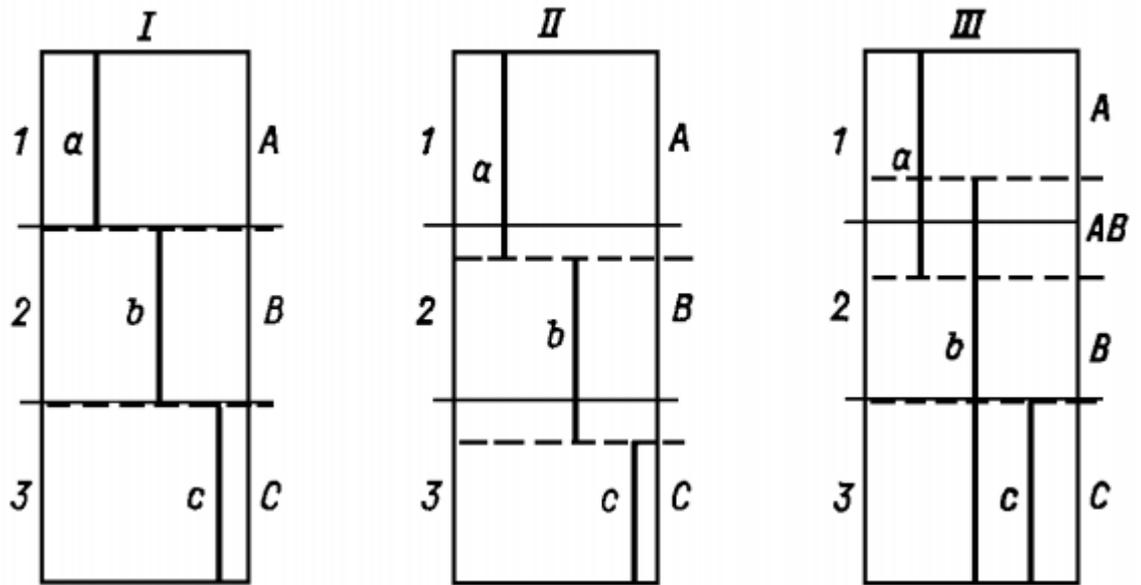
5.18.9. Биостратиграфическое расчленение разрезов

Основные стратиграфические операции - расчленение разрезов, их корреляция (то есть сопоставление частных разрезов в пределах одного района) и датировка (то есть сопоставление удалённых разрезов, в том числе и расположенных в разных регионах, путём сравнения со стандартным разрезом или стандартной последовательностью хроностратиграфических подразделений) - очень тесно связаны между собой. Занимаясь расчленением разреза, стратиграф всегда старается выделить единицы, которые можно проследить в пределах других мест, неизбежно применяя корреляцию разрезов.

Расчленение частных разрезов методами биостратиграфии, производится путем анализа распространения в этих разрезах отдельных таксонов ископаемой фауны и флоры и их комплексов. Естественно, сразу возникает вопрос, какие собственно таксоны должны учитываться при биостратиграфическом анализе. Нетрудно убедиться, что зона таксонов в биостратиграфии целиком определяется задачами, исследования. Так, если в каком-либо неизученном разрезе известняки с археоциатами перекрыты угленосными песками с отпечатками покрытосеменных растений, стратиграф сразу может сказать, что здесь на нижнепалеозойские отложения с огромным перерывом ложится толща не ниже верхов нижнего мела.

Обычно самые общие определения оказываются полезными при самых детальном построениях. Так, появление прослая брахиоподового ракушняка в толще криноидных известняков обязательно будет отмечено каждым стратиграфом, так как независимо от систематического состава брахиопод

этот прослой можно будет попытаться проследить на определённой площади в качестве маркирующего горизонта. В целом приведённые примеры показывают, что чем более узкий стратиграфический интервал вводится в рассмотрение, тем меньший таксон привлекается для его обоснования, хотя и не существует прямого соответствия уровней таксонов и ранга стратонов. Современным стратиграфам, как правило, приходится иметь дело с очень детальным расчленением и сопоставлением разрезов. Как правило, такие задачи решаются с использованием видовых таксонов.



I – стратиграфические диапазоны видов совпадают с границами слоёв;
II – стратиграфические диапазоны видов не совпадают с границами слоёв;
III – стратиграфические диапазоны видов перекрываются. 1-3 – номера слоёв; A, B, C – индексы биостратиграфических подразделений

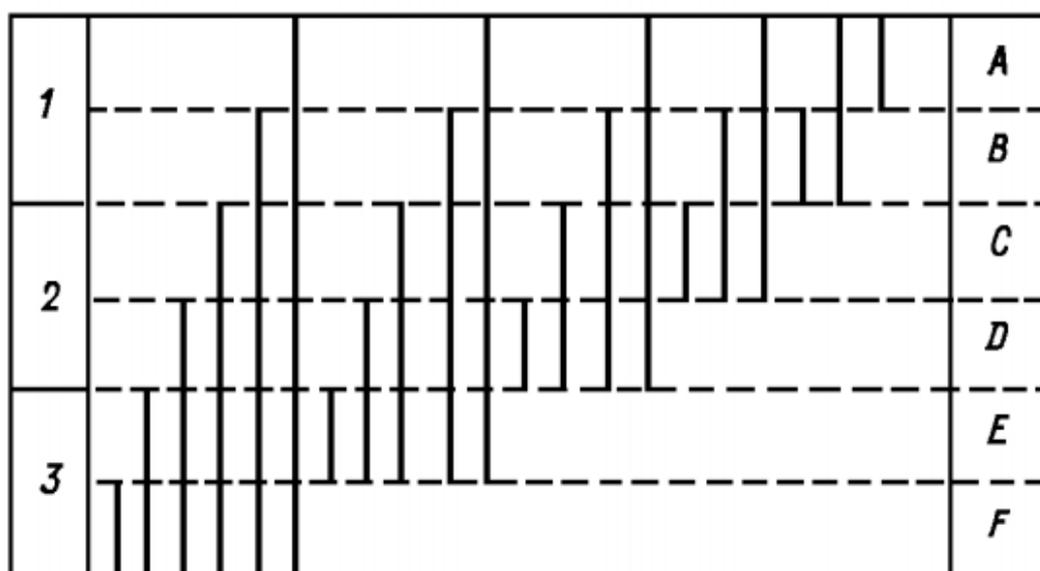
Рисунок 36 - Простейшие случаи распределения видов *a*, *b* и *c* в разрезах (Степанов, Месежников, 1979)

Рассмотрим различные варианты распространения ряда видов в разрезе и их влияние на биостратиграфическое расчленение. Наиболее простой моделью является последовательность слоёв, каждый из которых охарактеризован своим видовым таксоном (рис. 36, *I*). В этом случае по видам *a*, *b*, *c* в разрезе выделяются биостратиграфические подразделения A, B, C, границы которых совпадают с границами слоёв или пачек. Анализ самих таксонов в ряде случаев может дать важную информацию о характере этих границ (наличие или отсутствие перерывов) и о полноте разреза в целом. Диапазоны распространения таксонов в разрезе могут и не совпадать с литологическими разделами, и в этом случае в разрезе будут выделяться отличающиеся по объёму литологические и биостратиграфические единицы (рис. 36, *II*). Чаще, однако, интервалы распространения отдельных видов в разрезе частично совпадают. В этих случаях биостратиграфические единицы выделяются не по одному виду, а по определённому сочетанию разных

видов. Это в принципе позволяет проводить более дробное расчленение. На рис. 36, III видно, что частичное перекрытие стратиграфических диапазонов всё тех же трёх видов позволяет выделить в разрезе не три, а четыре биостратона: *C*, в котором встречаются виды *c* и *b*; *B*, где встречен только вид *b*, *AB* с видами *a* и *b* и *A*, охарактеризованный только видом *a*.

Как правило, стратиграфически важные группы представлены в разрезах большим числом видов, по сочетаниям которых возможно очень детальное деление разреза. Однако, все эти детальные биостратиграфические подразделения должны основываться на точно установленных интервалах распространения встреченных видов. Между тем определение этих интервалов является очень непростой задачей, особенно в тех случаях, когда анализируются сравнительно крупные палеонтологические объекты.

Многочисленные примеры убеждают, что установление истинного стратиграфического диапазона вида в частном разрезе часто вызывает очень большие трудности, а иногда, как мы видели, практически невозможно. Поэтому при расчленении частного разреза, то есть при установлении границ биостратиграфических подразделений, предпочтительнее выбирать уровни, контролируемые появлением или исчезновением, не одного, а нескольких таксонов (рис. 37).



Каждое подразделение охарактеризовано как узко, так и широко распространёнными видами. 1 - 3 - номера слоёв;
A - F - индексы биостратиграфических подразделений

Рисунок 37 - Расчленение разреза по комплексу ископаемых форм (Степанов, Месежников, 1979)

В геологической литературе часто обсуждался вопрос, чему следует отдавать предпочтение при установлении биостратиграфической границы: появлению или исчезновению таксонов. По-видимому, такая постановка вопроса не правомочна. Исчезновение каких-либо таксонов в конкретных разрезах может совпадать с моментом их вымирания, но может быть связано

с размывами, появлением в разрезах фаций, в которых эти формы не обитали или не захоронялись, неблагоприятными условиями захоронениями, наконец, неполнотой сборов. Равным образом появление таксона в разрезе может совпадать с моментом его возникновения, но может зависеть и от путей и скорости миграции, а также от всех вышеперечисленных причин. Поэтому в общем случае границы, проведенные по появлению или исчезновению таксонов, равноценны.

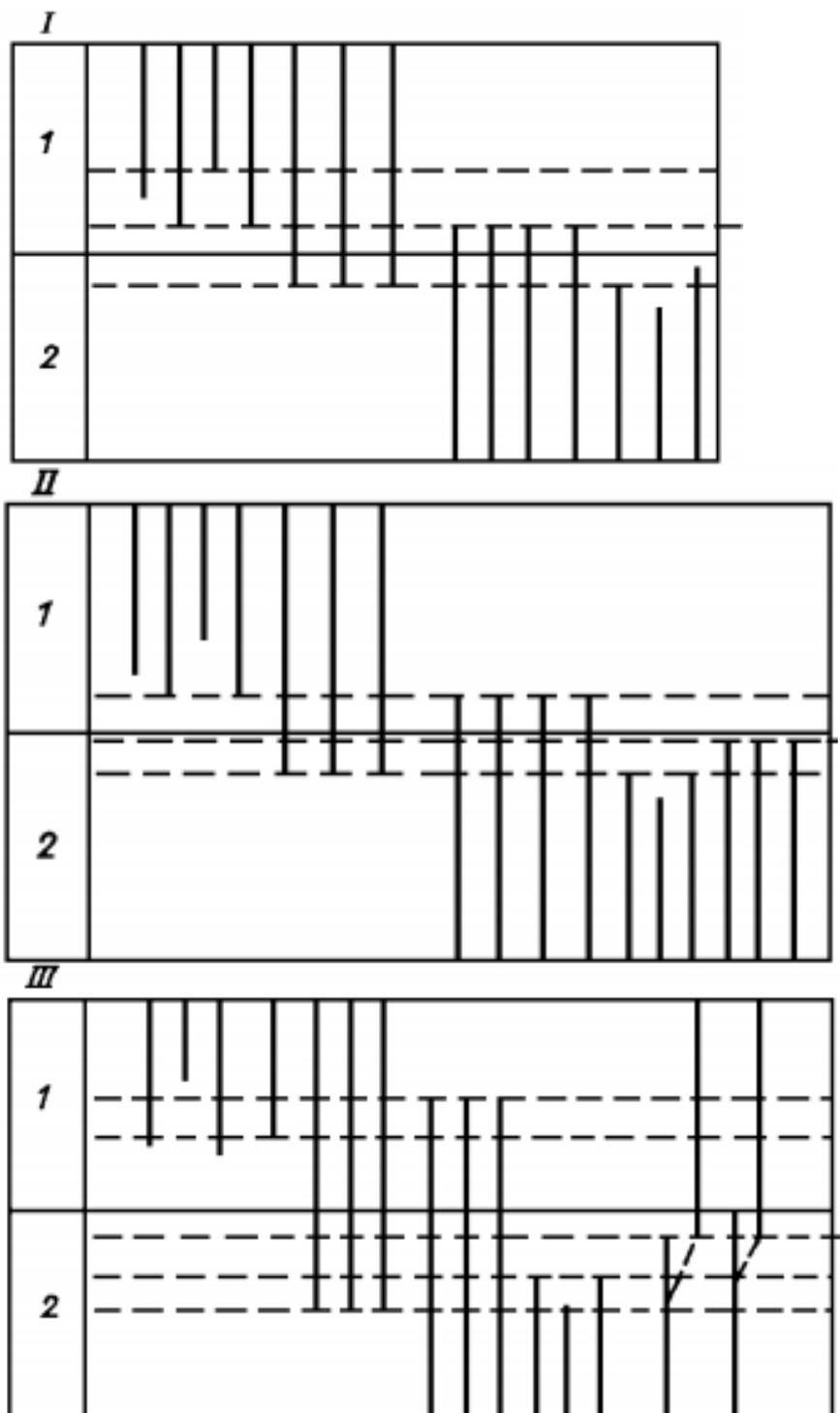


Рисунок 38 - Различные варианты проведения границ биостратиграфических подразделений по комплексам ископаемых форм (Степанов, Месежников, 1979)

На рисунке 38, I видно, что средний уровень, установленный по четырём исчезающим таксонам, и нижний, определяемый тремя вновь появляющимися таксонами, принципиально одинаковы, но они имеют явное преимущество перед верхним уровнем, который контролируется появлением лишь одного вида. Однако в геологической практике предпочтение может быть отдано и менее контрастному уровню в том случае, когда он совпадает с границей слоёв или пачек (рис. 38, II). Анализ взаимоотношений рассматриваемых таксонов может существенно дополнить и уточнить такие в известной степени формальные оценки. Если среди ряда возможных уровней окажется такой, на котором появляются виды, имеющие прямую связь с видами из нижележащего биостратона, то такой, уровень, бесспорно, получит преимущество перед всеми другими независимо от своего положения в разрезе (рис. 38, III), так как в пределах одного бассейна эволюционная смена видов происходит практически одновременно и, следовательно, граница, определяемая этой эволюционной сменой, заведомо окажется изохроной.

Кроме смены таксономического состава, при биостратиграфическом расчленении разрезов значение имеют и количественные характеристики таксонов (рис. 39).

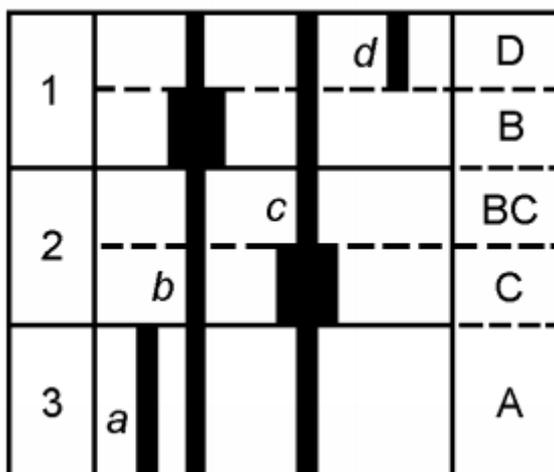
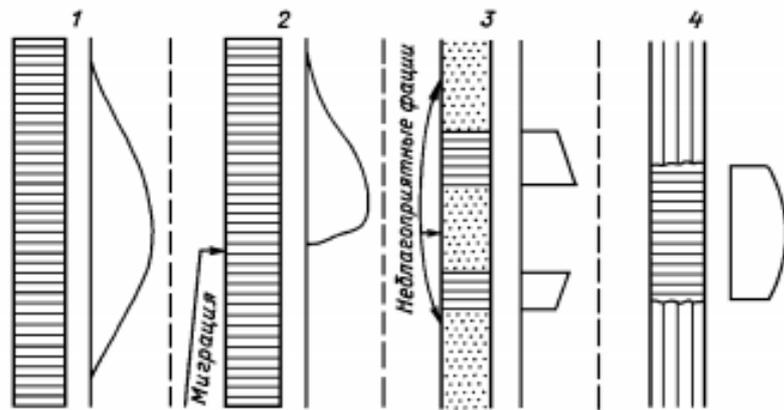


Рисунок 39 - Расчленение разреза с учётом количественных характеристик таксонов (Степанов, Месежников, 1979)

В разрезах часто наблюдаются существенные колебания численности таксонов, причём достаточно часто эти колебания имеют упорядоченный характер: количество экземпляров вида вначале относительно невелико, затем постепенно возрастает, достигая определённого максимума, и затем вновь сокращается до полного исчезновения. При переходе к родовым таксонам отмечается, что при появлении рода он представлен немногими видами, число которых увеличивается, а затем вновь сокращается.



1 – идеальное, 2 – под влиянием миграции, 3 – в результате фациальных изменений, 4 – вследствие размыва

Рисунок 40 - Распределения численности видов в разрезе(Степанов, Месежников, 1979)

Такое количественное распределение по разрезу свойственно организмам, которые весь цикл своего развития проходят в одном бассейне при неизменных условиях. Динамика численности будет другой в случаях миграции, смены условий существования, отражающихся в смене фаций, а также при неполной сохранности разрезов (рис. 40). Поэтому использование количественных характеристик таксонов для выделения, широко прослеживаемых подразделений, возможно лишь при предварительном изучении истории этих таксонов. Но для сопоставления близко расположенных разрезов изменение численности видов даёт очень хороший материал, позволяющий добиваться весьма высокой детальности. При этом возможно использование видов со значительно более широкими стратиграфическими диапазонами.

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

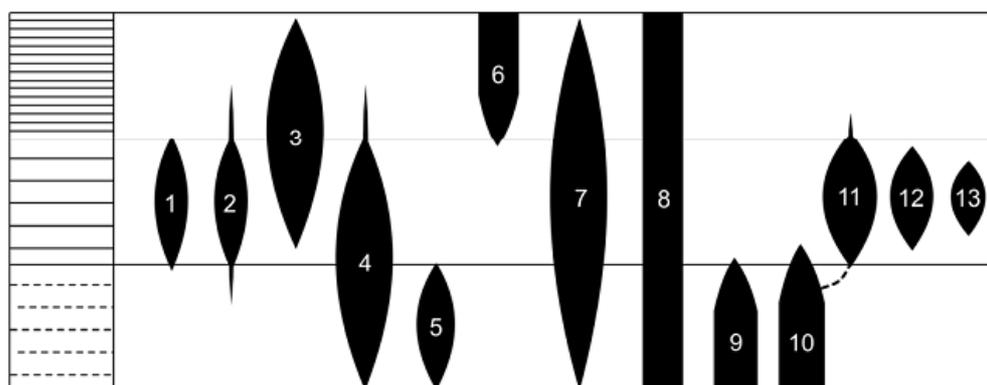


Рисунок 41 - Различные варианты распространения древних организмов в разрезе (Степанов, Месежников, 1979), с изменениями и дополнениями

Среди них могут быть (рис. 41):

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

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

3) формы, встречающиеся в нижележащих отложениях и исчезающие около верхней границы данного стратиграфического подразделения, а также формы, которые появляются около его нижней границы и переходят в вышележащие отложения (3, 4). Сочетание таких форм имеет большое значение в биостратиграфии, поскольку оно позволяет установить полный объём соответствующего подразделения;

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

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

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

5.18.10. Биостратиграфическая корреляция

Выяснение стратиграфических диапазонов остатков древних организмов и проводимое на этой основе биостратиграфическое расчленение частных разрезов представляют собой лишь начальные этапы стратиграфического анализа. Эти операции обеспечивают возможность сопоставления разрезов путём прослеживания в них определённых биостратиграфических подразделений. Основанием для сопоставления служит не тождество вещественного состава слоёв, а синхронность их образования. Таким образом, под биостратиграфической корреляцией

понимается, прежде всего, прослеживание на определённой территории одновозрастных биостратиграфических подразделений, а скоррелированными разрезами следует называть такие, в которых установлены одни и те же (или аналогичные по возрасту) биостратиграфические подразделения с изохронными границами. Именно в этом смысле термин корреляция употребляется подавляющим большинством стратиграфов.

В практической работе под корреляцией разрезов часто подразумевается установление в серии изучаемых разрезов одних и тех же биостратиграфических подразделений или литологических пачек вне зависимости от степени изохронности их границ.

Точность биостратиграфических корреляций, то есть степень синхронности подразделений, устанавливаемых в изучаемых разрезах, всегда относительна. Она зависит от целей, масштаба и детальности исследований. В зависимости от масштабов и детальности работ меняются требования к биостратиграфическим подразделениям и методы их прослеживания. Например, при составлении обзорных геологических карт достаточно знать, что в одном разрезе найден аммонит рода *Porpoceras*, а в другом *Leioceras*. Эти сведения позволяют отнести вмещающие слои к юрской системе и скоррелировать оба разреза с точностью, необходимой для карт масштаба 1:7500000 и более мелких. Но при работе с картами более крупного масштаба потребуется более высокая точность корреляции, поскольку здесь предусматривается выделение отделов, и сопоставление нижнеюрских отложений со среднеюрскими неверно. Геологические карты среднего масштаба требуют корреляция на уровне ярусов и подъярусов, а крупномасштабные основываются на зональной корреляции.

Для корреляции отложений применяется ряд методов: метод руководящих форм, комплексный метод, эволюционный (филогенетический и биогенетический) метод, палеогидрологический метод, палеоэкологический метод, количественные методы и др.

Метод руководящих форм. Для определения геологического возраста используют не все ископаемые организмы, а руководящие ископаемые - окаменелости, свойственные определённому слою и за пределами его не встречающиеся. Руководящими ископаемыми являются только те вымершие организмы, которые жили недолго и поэтому имеют ограниченное вертикальное распространение. Руководящие формы должны отвечать следующим основным условиям: 1) наиболее короткое вертикальное распространение; 2) широкое горизонтальное распространение; 3) наличие характерных морфологических признаков; 4) большая частота встречаемости и хорошая сохранность.

В большинстве случаев организмы приурочены к каким-то определённым фаціальным условиям. Комплексы, встречающиеся в разных фаціальных обстановках, для стратиграфии имеют большее значение, чем приуроченные к одной фаціальной обстановке.

Метод руководящих форм долгое время был основным в стратиграфии и позволял определять возраст слоёв и производить их корреляцию. Из многообразного видового органического комплекса, характерного для определённой стратиграфической единицы в её стратотипическом и близком к нему разрезах, выбирались одна или несколько наиболее приметных характерных форм. Они затем становились единственными индикаторами данной единицы при установлении её в других регионах. По смене руководящих форм в вертикальном разрезе велось расчленение его на соответствующие стратиграфические подразделения.

Понятие о руководящих формах сложилось исторически на материале Западной Европы и отражало господствовавший в своё время метафизический подход к изучению палеонтологических объектов. Отдельные ископаемые виды изучались в отрыве от включавшего их органического комплекса, без выяснения их образа жизни, фациальной приуроченности, закономерностей пространственного распространения, индивидуальной изменчивости. Это в общих чертах позволяло датировать и сопоставлять отложения на значительно удалённых друг от друга территориях. Ясно, что точность таких сопоставлений была относительной. Но для своего времени этот метод был прогрессивным. Он отличался простотой, убедительностью своей основной идеи, которая исходила из широкого понимания объёма вида. Тогда многие родственные виды принимались за один, что обеспечивало некоторое практическое удобство, так как при этом сопоставлялись многие удалённые разрезы в пределах разных континентов.

Применение метода руководящих ископаемых, большинство которых принадлежало быстро эволюционирующим и широко распространённым в отдельные периоды группам, постепенно привело к мысли, что не все ископаемые организмы одинаково ценны и одинаково пригодны для использования их в стратиграфических целях. Одни группы дают большое количество руководящих ископаемых, на них можно строить определённые стратиграфические выводы, другие оказываются для этого менее пригодны. Метод руководящих ископаемых используют в настоящее время для предварительного определения возраста, но при детальном стратиграфическом исследовании и при сопоставлении слоёв на больших расстояниях его применение может привести к грубым ошибкам.

Комплексный метод. Данный метод базируется на биостратиграфической корреляции не отдельных руководящих форм, а определённых групп ископаемых организмов. Метод комплексов является более трудоёмким по сравнению с методом руководящих форм, но он имеет и ряд существенных преимуществ. Анализируются не отдельные, заранее выбранные виды, а более или менее обширные группы видов и родов. При этом резко возрастает число коррелируемых разрезов, в рассмотрение вводятся и те частные разрезы, в которых руководящие виды не обнаружены.

Другим важным преимуществом метода комплексов является существенное расширение числа таксонов, которые могут привлекаться для корреляции разрезов. Определённую стратиграфическую ценность при этом приобретают даже относительно медленно изменяющиеся формы, которые, чаще всего встречаются в обнажениях и в керне скважин. Наконец, самым важным преимуществом метода комплексов является возможность сравнительно объективной оценки изохронности биостратиграфических границ. Действительно, любая форма, в том числе и руководящая, в отдельно взятом частном разрезе благодаря суммированию самых разнообразных факторов может занимать различное положение относительно границ определённой биостратиграфической единицы (рис. 42), вплоть до того, что виды, характерные для этой единицы в одних разрезах, будут встречаться только в выше- или нижележащих стратонах в других разрезах. Вероятность ошибки уменьшается вдвое, если стратон прослеживается не по одному, а по двум видам. Эта вероятность сократится ещё более, если в рассмотрение вводится три, четыре, пять и более видов. В общем случае выявление такого комплекса видов позволяет практически безошибочно прослеживать определённые биостратиграфические подразделения. Преимущества метода комплексов нашли самое широкое практическое использование, и в настоящее время этот метод является основным при биостратиграфических сопоставлениях.

Метод комплексов, как и любой другой метод, имеет свою специфику. Прежде всего, необходимо рационально определить само понятие комплекс. В геологической литературе существуют два принципиально разных подхода к этому определению. Большинство специалистов устанавливают фаунистические комплексы, характеризующие биостратиграфические единицы, отдельно по каждой группе. Так, например, для мезозоя выделяются обычно комплексы аммоноидей, белемнитов, двустворок, фораминифер, радиолярий, остракод; для верхнего палеозоя комплексы аммоноидей, фузулинид, брахиопод, остракод и т.п.

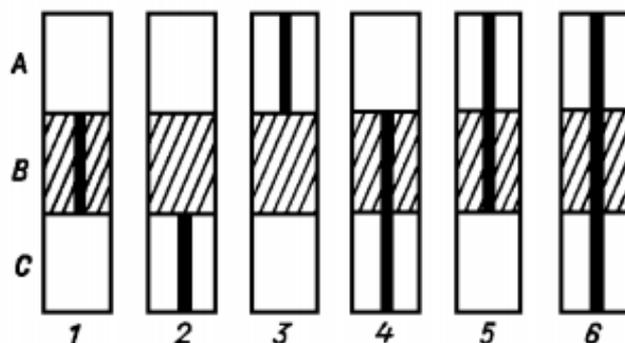


Рисунок 42 - Возможные положения руководящей формы относительно пачки B (Степанов, Месежников, 1979)

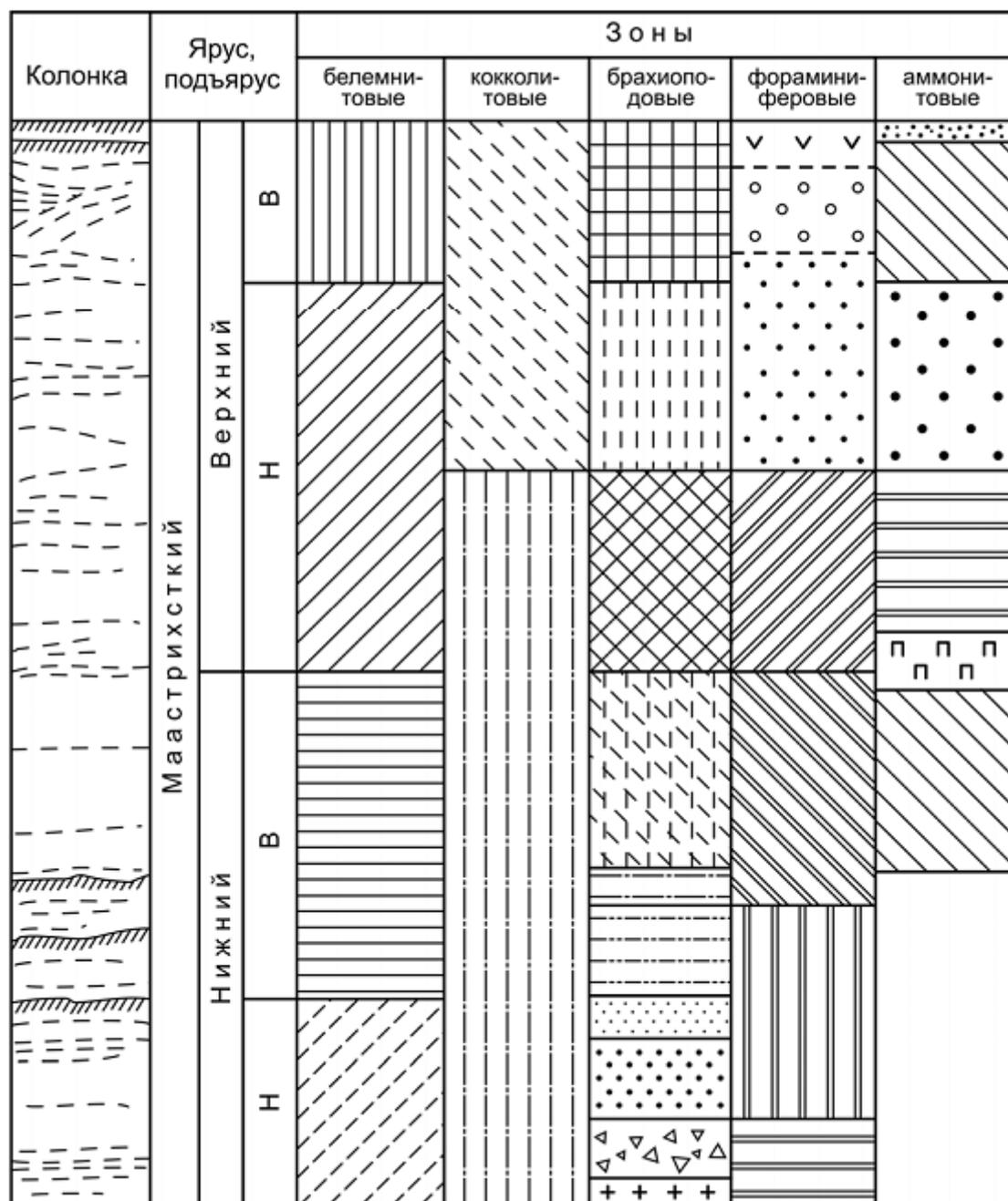


Рисунок 43 - Соотношения биостратиграфических подразделений, выделенных по разным группам фауны в верхнем мелу (маастрихтский ярус) Дании и севера Германии (Степанов, Месежников, 1979)

Действительно, очень часто фаунистические комплексы, установленные по отдельным группам, имеют в разрезе различные стратиграфические объёмы и, следовательно, по разным группам выделяются и прослеживаются разные биостратиграфические подразделения. Так, например, маастрихтские отложения Дании и северо-западной части Германии представлены монотонной толщей белых известняков мощностью от 250 до 700 м. В этих отложениях выделены комплексы аммонитов, белемнитов, брахиопод, фораминифер и кокколитофорид. На рисунке 43

видно, что число биостратиграфических подразделений, установленных на основании этих комплексов, неодинаково (4 по белемнитам, 2 по кокколитофоридам, 10 по брахиоподам, 7 по фораминиферам, 6 по аммонитам), а их объёмы отличаются настолько, что не существует ни одной биостратиграфической границы, которую можно было бы проследить по всем группам, хотя в то же время существуют уровни, однозначно определяемые целым рядом комплексов. Поэтому одни исследователи считали, что в состав фаунистического комплекса должны включаться лишь представители одной группы, характеризующейся в определённом бассейне общей историей существования и близкими темпами эволюции.

Другие исследователи предлагали включать в состав комплексов представителей различных классов и даже типов древних организмов. Основанием для подобных рекомендаций явилось представление о естественности большинства стратиграфических границ, которые должны отражать совпадающие во времени изменения среды и биоты. Реальные соотношения, наблюдаемые в разрезах, являются значительно более сложными. Вместе с тем сопоставление достаточно продолжительных по времени формирования участков разреза может производиться и с помощью комплексов, включающих представителей самых разных групп. Например, фитостратиграфические исследования основываются на анализе всего систематического состава растительности. Но широкие фитостратиграфические сопоставления проводятся с детальностью до отдела или значительной части отдела. При корреляции морских толщ такая детальность недостаточна, в этих условиях целесообразнее ограничивать состав комплекса одной группой фауны или даже частью группы (например, комплексы иноцерамид в юре и мелу, комплексы планктонных фораминифер в кайнозое и т.п.).

Неповторимость органических комплексов может быть обусловлена многими факторами, в первую очередь спецификой филогенетического развития отдельных групп, путями их распространения на фоне изменяющейся среды в связи с общим ходом геологического развития района и т.д. При сопоставлении по руководящим комплексам нужно всё время принимать во внимание фациальную обстановку. В некоторых случаях в разных фациях можно встретить представителей тех же семейств и родов, но принадлежащих иным видам. Иногда разновременные комплексы, но принадлежащие сходным фациальным обстановкам, могут иметь больше общих черт, чем комплексы из одновозрастных, но разнофациальных отложений.

Достаточно сложно установить стратиграфический объём комплекса, то есть определить его границы в разрезе. Это можно сделать двумя способами:

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

2) если узкораспространенные формы отсутствуют, под комплексом понимается определённая группировка совместно сосуществующих видов с широкими стратиграфическими диапазонами.

Выделение каждого комплекса должно сопровождаться его диагнозом. В нём указываются: а) совместно существующие виды; б) существующие только в рассматриваемом комплексе виды; в) исчезающие и появляющиеся на нижней границе комплекса виды; г) исчезающие и появляющиеся на верхней границе комплекса виды (рис. 44, а). Для комплекса, выделенного вторым способом, в диагнозе будет отсутствовать пункт б (рис. 44, б).

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

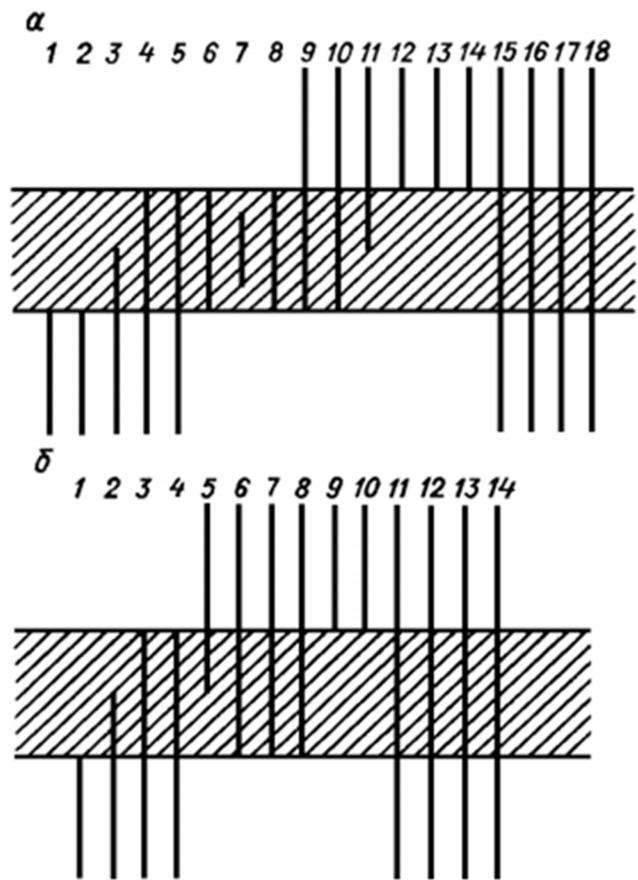


Рисунок 44 - Примеры выделения биостратиграфических подразделений и установления их границ путём анализа стратиграфических диапазонов отдельных видов комплекса (Степанов, Месежников, 1979)

Особое значение при сопоставлениях на большие расстояния имеют викарирующие (замещающие) виды. В современной фауне викариат - очень распространенное явление. Так, европейская лесная куница замещается в Сибири соболем, восточно-европейский зубр в Северной Америке бизоном и

т.п. Не менее распространен викариат и в древних фаунах. Например, позднеживетская пластинокожая рыба *Asterolepis ornata* Eichw., распространенная в гауйском горизонте Прибалтики замещается на территории Шпицбергена видом *Asterolepis scabra* (Woodw.) известным из серии Мимердален (Лярская, 1981). Стоит отметить, что обычно фаунистический комплекс прослеживается тем дальше, чем он менее связан с фациями. Сопоставление систематически несходных комплексов, занимающих в разрезе сходное положение, осуществляется через привязку к комплексам других фаунистических групп, общих для сопоставляемых разрезов.

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

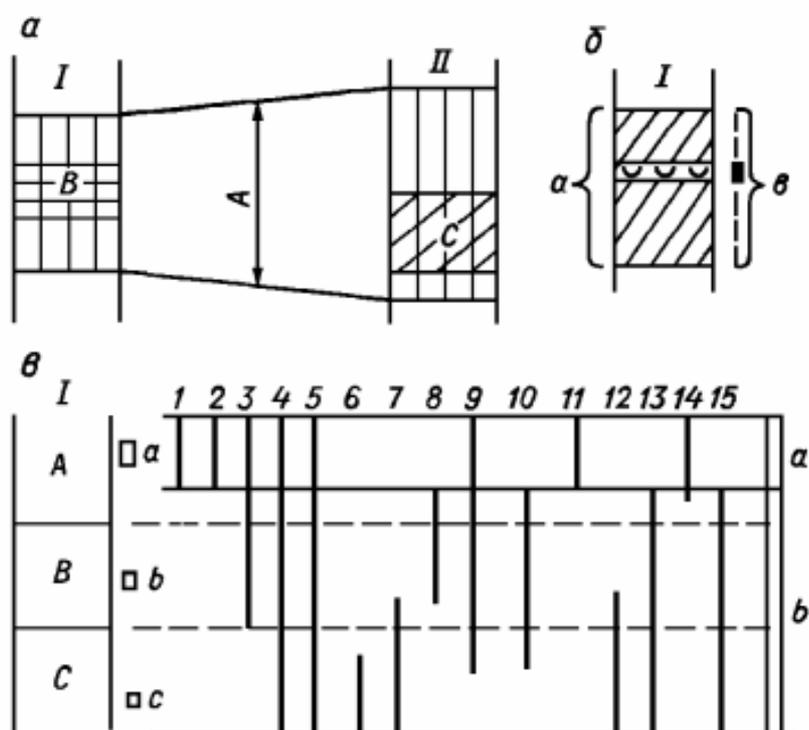


Рисунок 45 - Примеры осложнений при биостратиграфической корреляции (Степанов, Месежников, 1979)

Предположим, что в определенной серии разрезов верхнего мела установлена белемнитовая зона *A*. Средней части этой зоны соответствуют слои с комплексом брахиопод *B* (рис. 45, *a*). В другой серии разрезов в зоне *A* установлен комплекс брахиопод *C*, причём он несколько смещён в нижнюю часть колонки. Несмотря на то что комплексы *B* и *C* установлены внутри единого стратиграфического подразделения (зоны *A*), их корреляция не может считаться бесспорной, поскольку неясно, является ли комплекс *C* более древним по сравнению с комплексом *B* или же его смещение вниз по

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

Помимо корреляции отложений метод комплексов может применяться для анализа полноты разрезов. Степень преемственности в систематическом составе комплексов является хорошим индикатором размывов и перерывов.

На рисунке 46 схематически показано изменение по разрезу состава эоценовых комплексов радиолярий Атлантического океана.

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

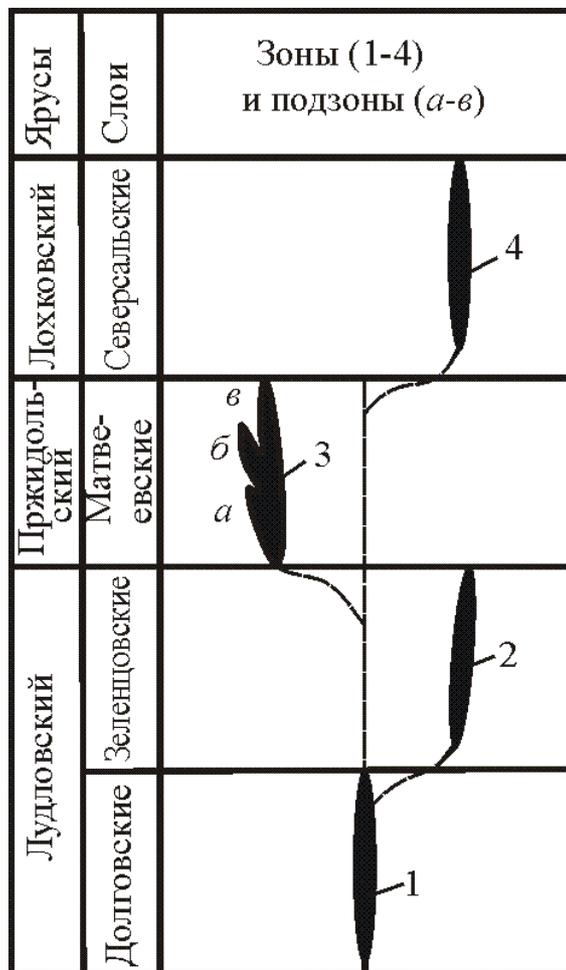
Подытоживая все вышеизложенное можно отметить, что комплексный метод является достаточно надёжным методом, так как он учитывает результаты изучения всех окаменелостей, найденных в слое, а не отдельных, иногда случайно выбранных видов и родов. Каждый слой содержит определённый комплекс окаменелостей, который не повторяется в других слоях согласно закону необратимости эволюции органического мира. Этот метод используется в наше время для определения относительного возраста слоёв горных пород наряду с другими палеонтологическими методами.

Эволюционный метод. Это филогенетический и биогенетический методы.

Филогенетический метод (рис. 47) метод основан на изучении филогенеза - исторического (эволюционного) развития органического мира. Метод широко используется с последней трети XIX в. Применяя этот метод, палеонтологи делают выводы об относительном возрасте слоёв при помощи изучения какой-либо группы родственных организмов (обычно рода, семейства, отряда). Из всего комплекса собранных послойно окаменелостей выбирают представителей определённой группы родственных организмов. Если эти окаменелости собраны в одном разрезе, то они являются звеньями единого эволюционного древа, причем предковые формы располагаются в основании этого древа, а потомки – в более молодых его ответвлениях. Естественно, что предковые формы будут встречаться в более низких слоях разреза, а потомки – в более высоких, то есть в более молодых. Таким образом, филогенетический метод основан на том, что потомки находятся на более высокой ступени эволюционного развития, чем предки; они не могли существовать до предков и, следовательно, всегда будут встречаться в более молодых слоях.

Филогенетический метод не лишен недостатков. Во-первых, он применим не для всех групп организмов. Во-вторых, он достаточно сложен из-за неполноты палеонтологической летописи. В-третьих, в слоях совместно с потомковыми формами нередко встречаются доживающие предковые формы. Опытный специалист-палеонтолог может избежать ошибок, зная эти недостатки. Особенно хорошие результаты приносит филогенетический метод, при параллельном изучении нескольких групп родственных организмов.

Биогенетический метод (сравнительно-анатомический или сравнительно-эмбриологический метод), основан на изучении индивидуального развития организма (онтогенеза), то есть позволяет прослеживать стадии развития особи от зародыша до взрослого состояния. Изучение онтогении и филогении различных групп организмов дают возможность установить появление и развитие относительных признаков и применить их для целей стратиграфии.



1 – *Greenfieldia uberis*; 2 – *Didymothyris didima*; 3 – *Collarothyris canaliculata*: а – *C. canaliculata*, б – *C. canaliculata trapezoideus*, в – *C. canaliculata lata*;
4 – *Protathyris praecursor*

Рисунок 47 – Филогения атиририд подсемейства *Didymothyridinae* (брахиоподы) и расчленение верхнесилурийских – нижнедевонских отложений о. Долгого (Модзалевская, 1980)

Палеоэкологический (биостратомический) метод. По сути своей, это не чисто биостратиграфический метод, а комплексное использование палеонтологических, литологических и геохимических данных. Они позволяют установить физико-географические (солёность, глубина, температура бассейна и др.) и биотические (трофические связи, структура биоценозов, конкуренция и пр.) параметры существования древних сообществ. В результате удается детально скоррелировать комплексы различных (разнофациальных) организмов, но разновозрастных.

Применение данного метода, предложенного выдающимся российским палеоэкологом Р.Ф. Геккером в 1940 г., имеет чрезвычайно важное значение при крупномасштабных геолого-съёмочных или поисковых и геологоразведочных исследованиях.

Ограничением метода является территория определенной фациальной зоны, за пределами которой выявленные соотношения могут принципиально меняться.

Палеогидрологический метод. Представляет собой разновидность палеоэкологического метода. Он обоснован российским академиком Н. И. Андрусовым и развит крупным специалистом в палеонтологии кайнозоя и биостратиграфии Б.П. Жижченко, проводившим анализ отложений неогенового внутреннего Понто-Каспийского бассейна. Изменения солёности и температуры вод этого бассейна, обусловленные прекращением или возобновлением связей с Мировым океаном, сказываются на характере бентосных сообществ моллюсков. При этом действительно выявляется определённая стадийность палеоценозов. Однако никто не доказал, что эти изменения одновременно охватывают всю площадь бассейна (Степанов, Месежников, 1979). Вероятно, данный метод применим лишь для сугубо ограниченной площади, направленность фациальной эволюции которой доказана.

Количественные методы. Рассмотрим кратко два количественных метода - процентно-статистический и биометрический.

Процентно-статистический метод был разработан Ч. Лайелем в середине XIX в. и долгое время являлся одним из основных. Сущность его заключается в следующем: в изучаемом разрезе выделяются слои и в каждом из них определяется весь комплекс окаменелостей. Относительный возраст выделенных слоёв устанавливается путём сравнения комплекса окаменелостей каждого слоя с эталонным, хорошо изученным разрезом. Возраст каждого слоя эталонного разреза известен, и все окаменелости послойно описаны. Одновозрастными в эталонном разрезе и в изучаемом разрезе считаются те слои, в которых содержится наибольший процент общих видов. Этот метод является по существу формальным, его применение нередко приводило к ошибкам в определении возраста. В настоящее время он употребляется в качестве вспомогательного метода совместно с другими методами.

Биометрический метод используется в целях корреляции разрезов. Он основан на применении математической обработки результатов измерений различных морфологических признаков ископаемых организмов, их относительных величин. По полученным данным строят кривые изменчивости, которые затем сравнивают. Данный метод применяется в настоящее время также в качестве вспомогательного вместе с другими методами.

Особенности использования микропалеонтологических объектов для биостратиграфической корреляции. Широкое использование для целей биостратиграфии микропалеонтологических объектов (кокколитофорид, диатомовых и динофитовых водорослей, фораминифер, радиолярий, остракод, тентакулит, хитинозой и пр.) началось с 1920-х годов.

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

Широкое распространение в биостратиграфии получило сопоставление разрезов по комплексам микрофауны, особенно фораминифер. Они устанавливаются как на основе стратиграфических диапазонов отдельных видов, так и по изменениям количества экземпляров этих видов по разрезу. В состав комплекса входят обычно десятки и даже сотни видов. Для биостратиграфических корреляций из них используется 10 - 20 форм, наиболее часто встречающихся и имеющих наиболее узкий стратиграфический диапазон. Но в общей характеристике комплекса указывается и степень его разнообразия на уровне семейств, и степень видового разнообразия для отдельных семейств. Иногда существенные колебания количества видов какого-нибудь семейства или подсемейства могут явиться указанием на изменение стратиграфического положения комплекса.

Комплексы микрофауны имеют весьма различное распространение. Например, ассоциации планктонных фораминифер и радиолярий кайнозоя

часто прослеживаются в виде поясов, охватывающих весь земной шар. Комплексы бентоса, как правило, имеют значительно меньшую протяженность и приурочены обычно к определённым фациальным зонам. Однако известны и чрезвычайно широко распространённые комплексы бентосных фораминифер. В целом наибольшее значение комплексы микрофауны бентоса имеют для сопоставления разрезов в пределах одного бассейна или его части, и здесь они оказываются наиболее эффективными.

Общая процедура выделения и прослеживания комплексов фораминифер, радиолярий, нанопланктона, остракод, конодонтов и т.д. не имеет особой специфики, за исключением их чёткой диагностики. Использование, например, палинологического метода имеет самое большое потенциальное значение при биостратиграфическом анализе, так как позволяет производить непосредственное сопоставление разнофациальных отложений.

Палинологический метод широко применяется в практике геологических исследований и основан на изучении спор и пыльцы растений. Споры и пыльца хорошо сохраняются в ископаемом состоянии благодаря своей очень прочной оболочке. Они разносятся ветром и текучими водами на большие расстояния и встречаются в самых разнообразных отложениях. Особенно много спор и пыльцы в континентальных отложениях, но широко распространены они и в прибрежно-морских осадках, куда заносятся с суши. Поэтому палинологический метод служит не только для определения возраста континентальных отложений, но и для сопоставления разновозрастных слоёв, образовавшихся на суше и в прибрежно-морских условиях.

5.18.11. Биостратиграфическое датирование

Под датировкой осадочных образований понимается определение возраста слоёв в любом регионе в геохронологических единицах *Общей (Международной) шкалы* и выделение здесь стратиграфических подразделений этой шкалы. В операционном плане под датировкой понимается сопоставление любого частного разреза со стандартной колонкой *Общей (Международной) стратиграфической шкалы*. Таким образом, датировка представляет собой определённую, но специфическую разновидность корреляции. Эта специфика заключается в прослеживании не любых изохронных уровней, а только некоторых, заранее установленных, являющихся границами стандартных подразделений *Общей (Международной) шкалы*.

Датировка включает в себя две неравноценные операции. Первая заключается в обнаружении в изученном разрезе отложений какого-либо подразделения *Общей (Международной) шкалы*. Такая информация особенно важна на первых этапах изучения региона. Но позже обыкновенной фиксации присутствия определённой системы, отдела, яруса или зоны

становится недостаточно, возникает потребность определения их границ в конкретных разрезах, расположенных на значительном удалении от стратотипических районов. Таким образом, следует различать установление и выделение каких-либо подразделений Общей (Международной) шкалы в частных разрезах.

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

Так, например, на рисунке 48, *а* показано выделение подъярусов B_1 и B_2 в районе удалённом от стратотипического. Зональное деление этих подъярусов осуществлено по смене комплексов богато охарактеризованной ортофауной. В удалённом разрезе *I* встречены лишь единичные формы, характерные для подъярусов B_1 и B_2 , а также для подстилающих и покрывающих отложений. В том случае, если каждая из этих находок приурочена к литологически разнородным пачкам, у стратиграфов не будет другого выхода, кроме как отнести, например, пачку глауконитовых песков к подъярису B_2 , пачку кварцевых песков к подъярису B_1 , а подстилающие и перекрывающие глины соответственно к ярусам *A* и *C*. Конечно, подобное совмещение хроностратиграфических единиц с литологическими разделами является вынужденным, а соответствующие датировки окажутся более или менее приближенными.

На рисунке 48, *б* показана принципиальная схема датировок с помощью парафаун. Границы яруса *B* в типовых разрезах проводятся соответственно между зонами a_1/b_6 и b_1/c_4 . В регионе *I* верхняя граница яруса *B* также устанавливается между зонами a_1/b_6 , нижняя же часть яруса *B* и верхи яруса *C* охарактеризованы другой фауной, однако с помощью промежуточных разрезов выяснено, что зона c_x одновозрастна зоне c_4 , а зона b_y зоне b_1 . Поэтому в регионе *I* ярус *B* выделяется достаточно строго. В

регионе II найдены лишь единичные формы ортофауны яруса B. Однако в разрезе отмечается последовательная смена трёх местных биостратиграфических подразделений, к среднему из которых приурочены эти находки. Со значительной долей условности ярус B может быть выделен и в этом регионе. Наконец, в регионе III установлен только ряд комплексов парафауны. Выделение здесь яруса B будет необоснованным, особенно если эти комплексы существенно отличаются, например, от комплексов региона II.

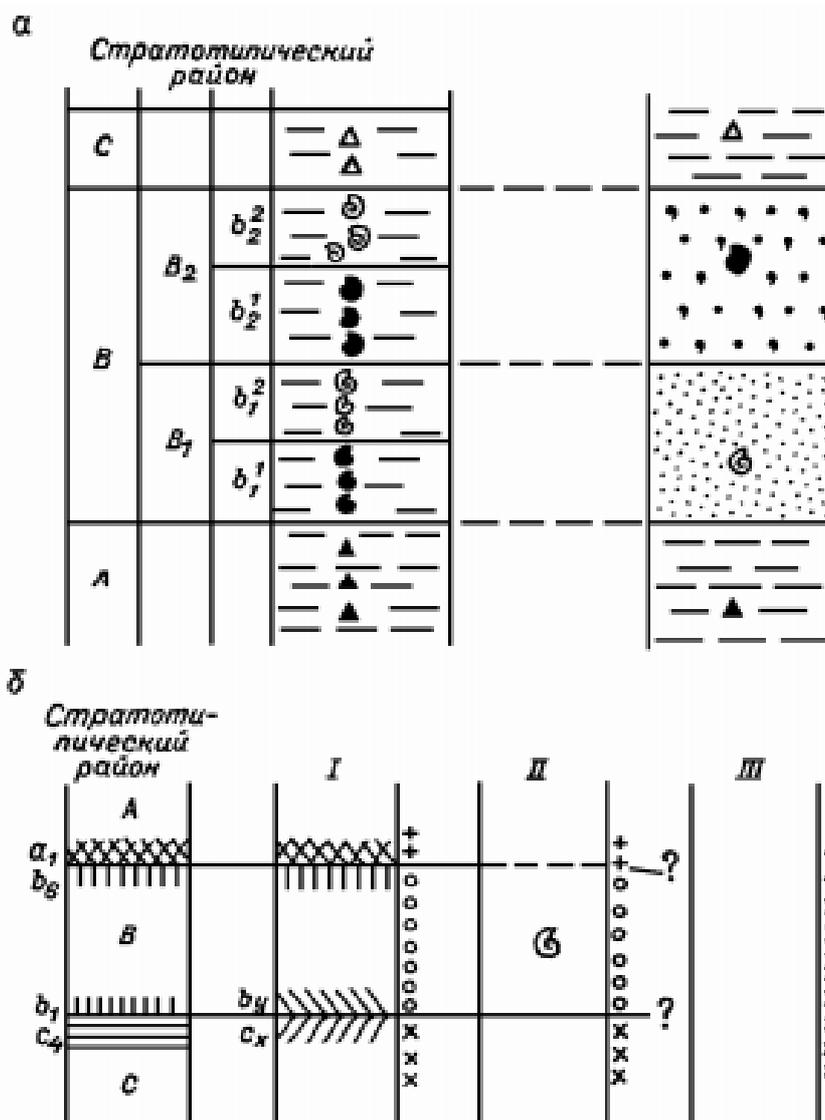


Рисунок 48 - Примеры датировок отложений в удаленных районах (Степанов, Месежников, 1979).

Тем не менее, из сказанного нельзя сделать вывод о том, что сами по себе комплексы парафауны не могут привлекаться для датировки осадочных толщ. Прежде всего, необходимо учитывать точность датировки. Установление систем, отделов, а иногда и ярусов в любом регионе не может производиться с помощью одних парагрупп. Ярусы главным образом, а более дробные подразделения исключительно могут устанавливаться лишь с

учетом ортостратиграфических фаун. Иначе обстоит дело с выделением подразделений Общей (Международной) шкалы в конкретных разрезах, когда возникает необходимость четкой фиксации границ. В этом случае прямое или опосредствованное привлечение данных по ортогруппам необходимо.

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

5.18.12. Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии

Трудности использования палеонтологического метода бывают обусловлены одной из двух главных причин: 1) отсутствие или недостаточность палеонтологических данных и 2) необычный или аномальный состав комплексов ископаемых организмов. Первая обусловлена бедностью рассматриваемых отложений окаменелостями или плохой их сохранностью и во многих случаях может быть преодолена за счёт тщательности поисков, применения новых методов распознавания и извлечения ископаемых остатков из породы, обучения поискам и опыту. Можно привести много примеров, когда считавшиеся «немymi» толщи оказывались насыщенными ископаемыми. Первоначально палеонтологи изучали сравнительно крупноразмерные ископаемые остатки и искали их исключительно визуально. После открытия способов поисков и извлечения из пород микроскопических объектов количество «немых» слоёв существенно сократилось. Долгое время очень бедными в палеонтологическом смысле считались пермо-триасовые континентальные красноцветные отложения, но когда научились искать в них кости позвоночных, они оказались далеко не бедными. Появление методики снятия железоокисной «рубашки» с пыльцевых зёрен позволило находить их в неогеновых красноцветных отложениях, также считавшихся ранее бедными.

Вторую и главную категорию случаев, осложняющих применение палеонтологического метода в стратиграфии, составляют комплексы ископаемых организмов необычного или аномального состава. При всём разнообразии причин, вызывающих образование подобных комплексов, они могут быть сведены к двум главным группам.

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

эндемизма, возникновению реликтовых или суперститовых форм, рекуррентии и т.п.

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

Синхронный перенос органических остатков может осуществляться следующими способами: а) перемещение вдоль берега под воздействием волноприбойного движения воды; б) перенос морскими течениями, реками, ветрами и различными животными; в) смещение по склону в результате оползней и мутьевых потоков; г) рассеивание посредством ледового разноса; д) погружение остатков организмов на дно водоёмов.

Во всех этих случаях возможно образование ориктоценозов как полностью аллохтонных, так и смешанного типа, включающих наряду с аллохтонными и автохтонные элементы. Образование аллохтонных ориктоценозов в результате синхронного переноса и захоронения обычно не влияет существенно на выводы о геологическом возрасте вмещающих отложений. Значительно большие трудности для стратиграфа представляют аллохтонные комплексы ископаемых организмов, возникшие в результате асинхронного переноса и захоронения, сопровождающиеся переотложением фоссилий, вынесенных из более древних отложений.

Асинхронный перенос или переотложение фоссилий может происходить следующими путями: а) эрозия суши и абразия берегов и дна; б) оползни и мутьевые потоки; в) ледники; г) миграция нефти; д) захват потоками лавы и вулканической грязи; е) перенос подземными и поверхностными водами; ж) перенос с глинистым раствором при бурении скважин.

Совершенно особый способ образования асинхронных комплексов ископаемых организмов, обычно микрофоссилий, представляет собой, так называемый их «вмыв» из более молодых отложений в подстилающие слои. И наконец, своеобразные аллохтонные, асинхронные ориктоценозы возникают в результате различных процессов, приводящих к «конденсации разреза».

5.18.12.1. Осложняющие факторы первичного характера

Осложняющие факторы эволюционного характера. Затруднения в этом случае связаны с возникновением морфологически похожих, как бы имитирующих друг друга «симулирующих» форм в различных и даже далёких филогенетических ветвях.

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

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

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

Вторичными формами эволюции являются конвергенция и параллелизм.

Конвергенция - приобретение сходных признаков неродственными организмами в сходной среде. В этом случае сходство возникает за счёт сходной среды обитания, различия за счёт 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 счёт общности происхождения и условий). Это явление широко распространено в органическом мире и создаёт более серьёзные 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 серьёзных ошибок при определении возраста.

Осложняющие факторы, связанные с расселением. *Эндемичные формы* и *комплексы* имеют узкоограниченные ареалы распространения, что выделяет их среди наиболее широко развитых комплексов, характерных для данного отрезка геологического времени. Естественно, что наличие в тех или иных отложениях эндемичных органических комплексов затрудняет сопоставление их с отложениями, в которых известны руководящие комплексы для данной стратиграфической единицы.

Наиболее наглядными примерами явления эндемизма будут примеры, взятые из современного органического мира. Так, эндемичной является коренная фауна млекопитающих Австралии (не считая, конечно, завезённых

европейцами форм). Это фауна реликтовая, представляющая небольшую часть некогда широко развитых фаун. Но не все реликты обязательно должны иметь узкое распространение. Более древние формы среди морских фаун, вытесненные в своё время на большие глубины, часто обладают здесь очень широким ареалом.

Эндемичными также являются фауны озера Байкал (около 76 % эндемичных форм) и озера Танганьика (73 – 75 % эндемиков). Но их эндемичность объясняется ранней изоляцией и последующим развитием в ограниченной области.

Таким образом, можно различать *палеоэндемизм*, или *реликтовый эндемизм*, когда на сравнительно ограниченных площадях сохраняются остатки прежде широко распространённых фаун. Классический пример палеоэндемизма был приведён выше с фауной млекопитающих Австралии. Другим видом эндемизма является *неоэндемизм*, когда молодые органические комплексы попадают в условия географической изоляции на небольших территориях и не успевают расширить свой первоначальный ареал. Тем не менее, сложившиеся на этих территориях физико-географические условия часто способствуют быстрому развитию изолированных форм, сопровождающемуся вспышками видообразования. Так, например, можно указать на широкое развитие неоэндемичных видов в верхнем палеоцене Поволжья. Эндемизм ископаемых форм обычно связан с явлениями изоляции и своеобразием фациальных обстановок. Так, палеоценовый бассейн Поволжья представлял отграниченную «заливообразную» часть Средиземноморского широтного бассейна, вдававшуюся в меридиональном направлении далеко к северу. Благодаря специфическим палеогеографическим условиям проникавшие сюда представители характерного танетского комплекса, развитого в широтном бассейне, дали начало многим эндемичным волжским видам.

Из всего вышесказанного ясно, что корреляция по эндемичным комплексам очень затруднительна. Приходится прибегать к тем элементам в составе эндемичных комплексов, которые всё же имеют более широкое географическое распространение. И сколь бы это ни казалось недостаточным, ориентироваться приходится на эти элементы. Комплексы, нацело состоящие из эндемичных форм, прямо несопоставимы с другими комплексами (иногда может помогать сопоставление не по тождеству, а по сходству отдельных признаков). Могут встречаться случаи, когда не все виды в комплексе узко эндемичны, а эндемично само сочетание их в данном комплексе. В иных случаях одни группы в комплексе могут быть представлены эндемичными видами, а другие более распространёнными.

Суперститовые формы и комплексы. Это понятие предложено для обозначения отдельных форм или целых комплексов древнего облика, находящихся в более молодых отложениях, чем те, для которых они обычно характерны. Их присутствие в ископаемых фаунах и флорах удревает действительный геологический возраст вмещающих отложений.

Аналогами суперститовых форм в современном органическом мире являются дожившие до наших дней представители древних, давно вымерших групп, обозначаемые как «живые ископаемые». Их принято именовать *реликтовыми*. Классическим примером является, например, латимерия. Большинство палеонтологических реликтов является эндемиками с реликтовыми ареалами, но и здесь встречаются исключения. Например, *Nautilus* - единственный доживший до настоящего времени наружно-раковинный головоногий моллюск - имеет обширный ареал, охватывающий Индийский и Тихий океаны.

При стратиграфических исследованиях приходится встречаться с суперститовыми комплексами, но более часто отдельные суперститовые формы рассеяны в нормальных комплексах ископаемых и создают трудности для установления геологического возраста вмещающих отложений. Во многих подобных случаях мы имеем дело с палеонтологическими реликтами в прошлом. А современная фауна млекопитающих Австралии целиком является суперститовой.

Суперститовыми могут оказаться и представители архистратиграфических групп. Например, в Мали в отложениях с богатой палеоценовой фауной был обнаружен аммонит *Indoceras*, до сих пор известный только из маастрихтских отложений Пакистана. В данном случае предпочтение было отдано согласованным показаниям других групп фауны, и отложения датировали как палеоценовые.

Сохранение суперститовых форм и целых фаун происходило, когда на определённой территории, в отличие от соседних областей, абиотические условия среды обитания оставались неизменными или фауна оказывалась изолированной, и поэтому она не вымирает и не вытесняется новыми иммигрантами. В таких убежищах (рефугиумах) реликты фауны или флоры могут сохраняться, когда по соседству они уже исчезли.

Колониальные формы. В противоположность суперститовым формам колониальные содержат элементы более молодого облика, встречающиеся среди области распространения более древних организмов. Это связано с появлением новых элементов на более низком стратиграфическом уровне, чем тот, к которому приурочено их привычное нахождение. Ясно, что здесь они распространены спорадически (как бы отдельными колониями поселенцев), в то время как массовое развитие получают несколько позже. Следовательно, колониальными формами нужно считать такие, которые первоначально образовались на ограниченных территориях, а в связи с распространением в более позднее время сходных (со сложившимися там) физико-географических условий на обширные пространства широко на них расселились. В местах своего первоначального образования эти новые элементы в окружении старых комплексов и будут производить впечатление более молодых.

Конечно, точного совпадения внешних условий, свойственных ограниченными территориям, с условиями, распространившимися на

обширные области, быть не может, так как в какой-то степени при подобном распространении эти условия будут изменяться. Также и распространяющиеся вслед за ними новые комплексы начнут изменяться и в связи с видоизменениями окружающих условий, и благодаря смешению с родственными комплексами. Поэтому колониальные формы в точности не совпадают с широко развитыми сходными организмами на более высоком стратиграфическом уровне, а содержат с ними некоторые общие элементы.

Рекурренция. Под рекурренцией понимается повторное появление одних и тех же форм или целых фаунистических (флористических) комплексов в различных стратиграфических горизонтах. Она связана, прежде всего, с повторением в разрезе благоприятных фаций и обусловлена миграцией организмов, ушедших из первоначального места обитания и существовавших некоторое время за его пределами, а после восстановления соответствующих условий возвратившихся на старое место. Кроме этого, она бывает связана с периодическими изменениями условий сохранения органических остатков в ископаемом состоянии. В обоих случаях рекурренция фауны и флоры отражает рекурренцию соответствующих фаций. Особенно часто она наблюдается в толщах с ритмичным чередованием отложений различного фациального характера с многократным повторением в разрезе одних и тех же фаций.

Гетерохронное распространение форм и комплексов. Отдельные формы или комплексы могут проникнуть в новую область, в которой время их появления может существенно отличаться от такового в области их первоначального обитания. В этом новом регионе не только время первого появления, но весь стратиграфический диапазон распространения данной формы или комплекса могут быть совершенно отличными от того, который характеризовал его в первоначальном регионе. Подобные формы и комплексы могут рассматриваться как *гетерохронные*.

Распознать гетерохронный вид в составе фаунистического комплекса обычно удастся путём изучения всего комплекса. Однако в тех случаях, когда фауна расселяется медленно, то её первое появление может быть в одном разрезе значительно выше, чем в другом, хотя конкретное доказательство этого различия бывает трудно получить. Эти факты доказывают неправильность мнения о практически одновременном появлении руководящих видов в соответствующих горизонтах.

Особое значение фактор расселения и миграции приобретает для наземных фаун четвертичного периода. Так, в стратиграфии плейстоцена, которая в значительной мере опирается на фауны млекопитающих, приходится учитывать то обстоятельство, что средняя продолжительность существования видов превышает продолжительность времени, соответствующего зональным подразделениям этой эпохи. Поэтому сравнительный уровень эволюционного развития групп родственных видов может быть использован только для сопоставления близко расположенных разрезов и основанная на таком подходе отдалённая корреляция может быть

ложной. Дело в том, что в подобных случаях образование географических подвидов может как бы симулировать возникновение подвидов во времени. В этих условиях вполне, возможны случаи, когда в одном районе мы можем встретить более продвинутый подвид, чем в другом, не смотря на их полную синхронность. Так, например, субфоссильные барсуки с территории Дании сходны с рецентными барсуками Швеции, а современная датская популяция барсуков имеет более прогрессивный тип озубления.

5.18.12.2. Осложняющие факторы вторичного характера

В этих случаях затруднения в интерпретации палеонтологического материала связаны с переотложением ископаемых остатков организмов различного масштаба.

В одних случаях имеет место переотложение единичных отдельных форм, вкрапленных в автохтонный комплекс, в других переотложенными являются целые фаунистические и флористические комплексы. Понятно, что подобные явления существенно затрудняют биостратиграфический анализ и нередко приводят к ошибкам при определении геологического возраста отложения, вмещающих переотложенные комплексы ископаемых организмов. Переотложение также часто искажает истинную амплитуду стратиграфического распределения отдельных форм, что может служить источником последующих погрешностей в стратиграфических выводах. Впрочем, зачастую переотложенные комплексы ископаемых могут использоваться для установления возраста и местного стратиграфического расчленения.

Случаи нахождения переотложенных ископаемых органических остатков можно свести к следующим основным типам: 1) глыбы и валуны с фауной в составе грубообломочных толщ, экзотические бескорневые скалы, останцы тектонических покровов, ледниковые отторженцы; 2) отдельные окаменелости и их комплексы, вымытые из первоначально вмещавших их горных пород и переотложенные в более молодых толщах; 3) окаменелости из более молодых отложений, «вмытые» в подстилающие более древние толщи. Особую категорию представляет образование смешанных комплексов при конденсации разрезов.

Переотложенные обломки пород с остатками организмов. Явление, когда осадочная толща включает обломки или глыбы пород с фауной из более древних отложений, широко распространено. Наиболее типичным примером является присутствие галек, содержащих органические остатки, в базальных толщах. Иногда они оказываются вообще единственными документами для установления, хотя бы приближённо, возраста вмещающей толщи. По ним же в некоторых случаях можно уточнить возраст орогенической фазы, предшествовавшей образованию изучаемой толщи.

Иногда глыбы во вторичном залегании являются единственными свидетельствами существования отложений соответствующей системы. В

качестве примера можно указать на экзотические глыбы каменноугольного и пермского возраста, находящиеся во вторичном залегании в триасово-юрских флишевых толщах Крыма. Их рассматривают как тектонические отторженцы с материка или как останцы коренных отложений, выдавленные снизу к земной поверхности.

Переотложение ископаемых и их комплексов. Данная категория связана с нахождением во вторичном залегании обломков с фауной в грубообломочных и конгломератовых толщах, так как грубообломочному материалу часто сопутствуют отдельные окаменелости, вымытые из глыб пород в процессе их выветривания, предшествовавшего их захоронению в более молодых осадках. Иногда глыбы переотложенных пород бывают окружены вымытыми из них окаменелостями, рассеянными в цементе, но не сингенетичными ему. В подобных случаях вторичность нахождения окаменелостей во вмещающей породе устанавливается сравнительно легко. Трудности значительно больше, когда аллохтонные и автохтонные элементы встречаются вместе и не различаются по условиям захоронения и характеру сохранности.

С явлениями переотложения окаменелостей и их комплексов особенно часто приходится встречаться в терригенных обломочных толщах. Однако переотложенные остатки организмов нередки и в карбонатных породах. Переотложенными могут оказаться представители самых различных групп ископаемых. Это раковины беспозвоночных, кораллы, кости и зубы позвоночных и др. Наиболее часто в практике палеонтолого-стратиграфических исследований приходится встречаться с переотложением микрофауны раковин фораминифер и остракод, иногда образующих целые комплексы переотложенных форм. Нередки случаи и переотложения мелких растительных остатков и образований, связанных с размножением растений (споры, пыльца, оогонии харовых водорослей и пр.). В результате переотложения часто возникают фаунистические и флористические комплексы смешанного состава, в которых наряду с формами, находящимися в коренном залегании, присутствуют и переотложенные. Иногда встречаются и целиком переотложенные комплексы организмов, особенно, часто фораминифер.

Как правило, для обнаружения переотложенных остатков используется два критерия: 1) характер сохранности и 2) возрастное различие коренных и переотложенных элементов. Остатки организмов, вымытые из прежнего местонахождения и перенесённые к месту своего вторичного захоронения, обычно обнаруживают следы разрушения, несут на себе следы окатанности в виде сглаженной скульптуры или встречаются в виде фрагментов. Внутри переотложенных раковин может сохраниться порода первоначального захоронения, отличающаяся от вмещающих отложений, в которых они встречены. Иногда наблюдается корродированность поверхности переотложенных раковин или повреждения наиболее хрупких скелетных образований. Однако критерий сохранности может быть использован не

всегда. Например, в породах, накапливавшихся в условиях спокойной гидродинамической обстановки (известняках и тонко отмученных глинах), переотложенные раковины по своей сохранности неотличимы от коренных.

Второй критерий эффективен при значительной разнице в возрасте первичных и вторичных элементов, когда более древний облик переотложенных форм по сравнению с возрастом вмещающих отложений является достаточно очевидным. Но часто переотложенные формы по возрасту лишь немного древнее вмещающих отложений. В этих случаях возникает вопрос: действительно ли это переотложение, а не переживание более древних элементов фауны, что является не редким явлением. Если не наблюдаются указанные выше прямые признаки аллохтонности окаменелостей, то наиболее надежными из косвенных критериев являются тафономический и палеоэкологический. Тафономическими признаками аллохтонного захоронения могут быть сортировка окаменелостей по размерам или форме, наличие закономерной ориентировки, особенно удлиненных форм, внедрение и вдавленность одних раковин или створок в другие и т.п.

Палеоэкологический критерий условий нахождения окаменелостей *in situ*, или в аллохтонном захоронении, предполагает анализ экологических взаимоотношений отдельных членов изучаемого ориктоценоза (сообщества ископаемых). Так, совместное присутствие в одном слое остатков организмов, занимавших в древнем бассейне различные экологические ниши, указывает на наличие переноса органических остатков. Масштаб этого явления может быть различным: от синхронного (геологически одновременного) незначительного перемещения в пределах одной биофации и до переотложения, то есть привноса в осадки более древних форм, вымытых из ниже залегающих толщ.

Таким образом, если прямые указания на переотложение окаменелостей в виде характера их сохранности не всегда достаточно отчетливы, то с использованием тафономического и палеоэкологического критериев мы можем получить более надежные данные для распознавания явлений переноса.

Следует так же отметить, что некоторые группы ископаемых практически всегда являются аллохтонными, испытавшими до захоронения более или менее значительный перенос. Это относится к морским фаунам, прежде всего, остаткам пелагических (планктонных и нектонных) животных, а также к спорам и пыльце. Однако само по себе аллохтонное захоронение в условиях синхронного (геологически одновременного) переноса остатков организмов ещё не исключает возможности использования ориктоценоза, содержащего перемещенные элементы, для установления геологического возраста. Поэтому следующим этапом изучения аллохтонного ориктоценоза должно явиться решение вопроса о полной сингенетичности с вмещающими отложениями либо о наличии в нём отдельных асинхронных, то есть переотложенных, элементов. Зачастую весь комплекс (ориктоценоз) может

оказаться полностью переотложенным, не сингенетичным вмещающей породе.

Нахождение во вторичном залегании ископаемых, переотложенных из более молодых отложений, вымыв. Иногда во вторичном залегании присутствуют ископаемые из более высоких, чем вмещающие отложения, стратиграфических уровней, вплоть до остатков современных организмов. Чаще всего подобные случаи связаны с керновым материалом из буровых скважин и объясняются заносом ископаемых организмов глинистым раствором из вышележащих слоёв в нижележащие. Заносятся современные микроорганизмы в пробы пород при неаккуратном взятии образцов и изготовлении препаратов при палинологических исследованиях. Особенно легко в такие препараты попадают споры и пыльца современных растений. Как-то в литературе появилось сообщение об обнаружении пыльцы покрытосеменных растений в нижнекаменноугольных отложениях Московской синеклизы. Но последующие исследования это открытие не подтвердили. Скорее всего, в препарат попала современная пыльца при недостаточно стерильном взятии проб.

Иногда «загрязнение» спорами и пылью из более молодых отложений происходит без участия человека. Одним из примеров может быть обнаружение девонских и каменноугольных спор в докембрии Воронежского кристаллического массива. В данном случае произошло поглощение палеозойских спор трещинами в толщах докембрийских пород. В контрольном образце в трещинах были найдены очень хорошо сохранившиеся палеозойские и мезозойские споры, а на участках породы, не затронутых трещиноватостью, никаких спор обнаружено не было (Холмовой и др., 2008). Такое проникновение микрофоссилий по трещинам и каналам растворения из верхних горизонтов разреза в более низкие обозначается как «вымыв».

Смешанные фаунистические и флористические комплексы, конденсация разрезов. Еще один своеобразный тип аномальных фаунистических и флористических ассоциаций представляют собой смешанные комплексы ископаемых организмов, характеризующиеся совместным присутствием в одном слое разновозрастных форм, которые в условиях нормального разреза встречаются в нескольких последовательно залегающих фаунистических или флористических зонах. Подобные случаи чаще всего обусловлены явлением, так называемой *конденсации* разреза, или «сгущения» зон.

Конденсация разреза может возникать в результате прерывистого осадконакопления, сопровождавшегося частичным растворением ранее образовавшегося осадка, а также может быть вызвана замедленным, хотя и непрерывным, осадконакоплением в условиях так называемых «голодающих бассейнов». Это выражение употребляется для обозначения осадочных бассейнов с маломощным разрезом по сравнению с соседними областями из-

за того, что скорость погружения была значительно большей, чем скорость осадконакопления.

От конденсации разреза следует отличать явление стратиграфической *редукции*, приводящей к образованию *редуцированных разрезов*, характеризующихся аномально малой мощностью отдельных биостратиграфических горизонтов при отсутствии смещения зональных форм, присущих различным стратиграфическим уровням.

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

Значительная роль в образовании смешанных как гетерофациальных, но разновозрастных, так и разновозрастных комплексов органических остатков, принадлежит *турбидным*, то есть *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, снесённые мутьевыми потоками с прилегающих поднятий.

5.18.13. Стратиграфические подразделения, выделяемые биостратиграфическим методом

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

Биостратиграфические подразделения - это охарактеризованные остатками организмов совокупности горных пород, границы между которыми определяются эволюционными изменениями отдельных таксонов, комплексов фауны (флоры) или сменой экологических ассоциаций. Стратиграфические границы этих подразделений должны быть приурочены в разрезах к уровням смены состава характерных таксонов или комплексов фауны (флоры). Основной единицей является биостратиграфическая зона, которая может подразделяться на подзоны, составляющие в сумме полный стратиграфический объем зоны. Вспомогательными биостратиграфическими подразделениями являются слои с фауной (флорой).

Выделение биостратиграфических единиц основано на «законе фаунистической сукцессии», то есть 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, то есть сменой фаций;
- 3) чисто геологическими причинами - перерывами, размывами, регрессиями и т.п.

Понятно, 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, так как в любом отрезке филогенетической цепи (в пределах одного бассейна) переход от предкового вида к виду-потомку будет происходить с геологической точки зрения синхронно. 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.

Начиная с верхнего докембрия 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, подсвит), 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 слоёв, которая характеризуется определённым 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. Выделение одной зоны среди не расчленённых на зоны отложений не допускается. В этом случае должны быть выделены вспомогательные биостратиграфические подразделения - *слои с фауной (флорой)*.

Виды биостратиграфических зон. Существуют различные виды биостратиграфических зон (рис. 49). Наиболее широко распространены следующие:

1. *Биозона (зона распространения таксона)* - совокупность слоёв, охватывающих полный стратиграфический интервал распространения какого-либо палеонтологического таксона, чаще вида. Биозона, соответствующая полному стратиграфическому распространению рода, называется *геозоной*.

2. *Зона совместного распространения* - слои, отвечающие совпадающим частям интервалов стратиграфического распространения двух выбранных таксонов, биозоны которых могут быть различны.

3. *Филозона* - слои, в которых распространён таксон (таксоны), представляющий собой отрезок конкретной филогенетической линии или тренда развития этой линии, ограниченной снизу и сверху по разрезу изменениями в характере развития.

4. *Интервал-зона* - слои, заключённые между первым появлением какого-либо характерного таксона (обычно типичного вида-индекса) данной зоны и первым появлением характерного таксона вышележащей зоны. В пределах непрерывной последовательности интервал-зоны могут выделяться и как слои, заключённые между уровнями исчезновения характерного таксона подстилающей зоны и характерного таксона рассматриваемой зоны (таксон, существование которого ограничивается кровлей интервал-зоны).

5. *Акмезона (эпибола)* - слои, в которых какой-либо таксон достигает максимума частоты встречаемости.

6. *Комплексная зона* - совокупность слоёв, охарактеризованных комплексом древних организмов из трёх или более таксонов, отличным от комплексов подстилающих и перекрывающих слоёв. В составе комплекса могут быть остатки организмов, принадлежащие к разным группам одного таксономического ранга или к разным рангам.

7. *Экозона* - разновидность комплексной зоны, то есть слои, в которых комплекс остатков организмов отражает их прижизненную экологическую ассоциацию или тафономические особенности ориктоценоза. В характеристике экозонального комплекса желательно отражать количественные соотношения таксонов.

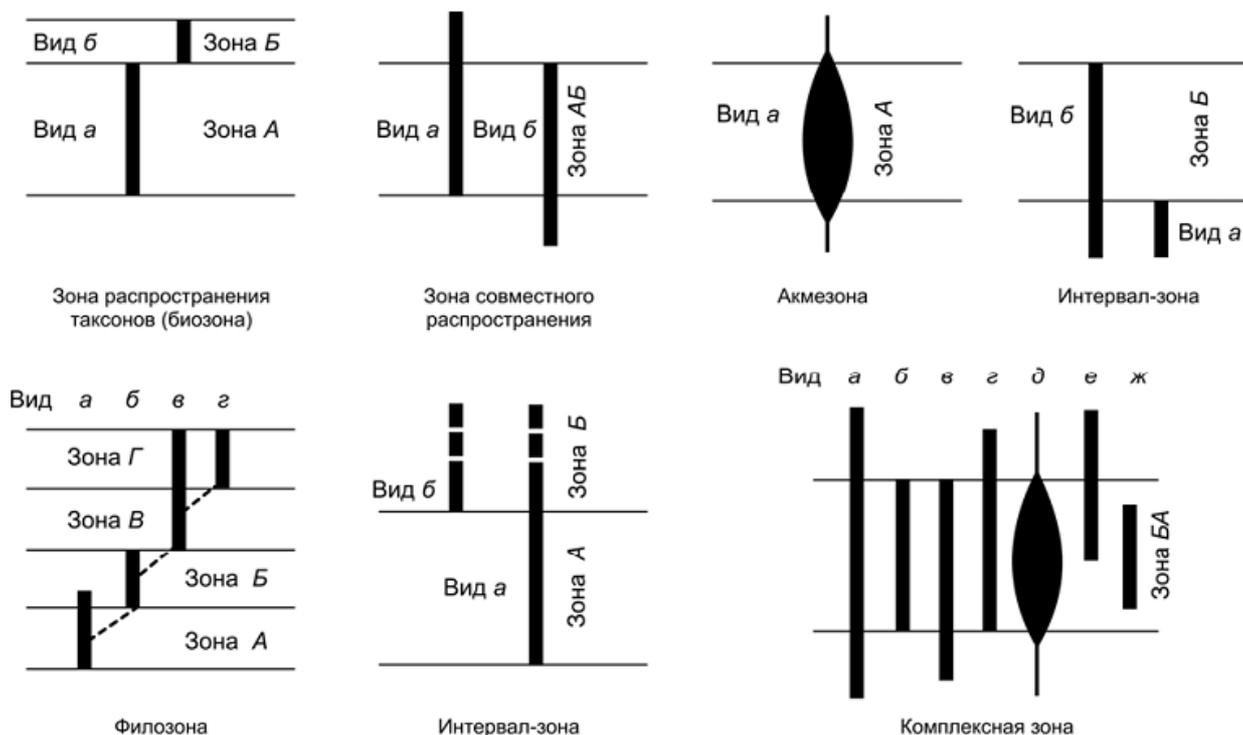


Рисунок 49 - Виды биостратиграфических зон

Биостратиграфические зоны по ареалу своего распространения подразделяются на местные и провинциальные, которые относятся к комплексным зонам.

Местная зона - биостратиграфическая зона, латеральным распространением которой определяются границы палеобиогеографического района или его части. Она устанавливается по фаунистическому (флористическому) зональному комплексу или таксону, характерному, как правило, для определённой фациально-экологической обстановки соответствующего участка палеобассейна седиментации.

Провинциальная зона (лона) - биостратиграфическая зона, латеральным распространением которой определяются границы палеобиогеографической провинции или области, что нередко соответствует палеобассейну седиментации. То есть провинциальная зона - более крупное подразделение, чем местная зона. Провинциальные зоны используются при корреляции местных стратиграфических подразделений и выделении региональных подразделений - горизонтов. Они могут заполнять весь стратиграфический объём горизонта.

Стратотип должен иметь комплексную зону, экозону и зону совместного распространения. Для остальных видов зон необходимо указывать название разреза, в котором установлена соответствующая зона. Этот разрез должна характеризовать коллекция зональных ископаемых организмов, которые хранятся в музее или описаны в монографии. Биостратиграфические зоны, устанавливаемые по разным группам организмов, независимы. Совпадение стратиграфических объёмов зон по

разным группам таксонов не может служить поводом для упразднения какой-либо из них.

Название биостратиграфической зоны и подзоны образуется из названия одного или двух-трех видов-индексов или родов-индексов без указания имени таксона и года его установления. Название интервал-зоны образуется от названия вида, появление которого фиксирует нижнюю границу зоны или вида, исчезновение которого определяет верхнюю её границу. Латинские названия родов и видов печатаются курсивом. При неоднократном упоминании биостратиграфической зоны в тексте допустимо употребление только видового названия (независимо от её вида). Геохронологическим эквивалентом биостратиграфической зоны и подзоны является «время ... с названием зоны или подзоны».

Слои с фауной (флорой) - вспомогательное стратиграфическое подразделение с остатками организмов, которое не отвечает требованиям, предъявляемым к выделению биостратиграфических зон. Слои с фауной (флорой) называются по характерным остаткам организмов латинского наименования, печатаются курсивом. Геохронологическим эквивалентом является, например, «время образования слоя с ...».

5.19. Экостратиграфический метод

Данный метод в настоящем учебном пособии рассматривается отдельно от биостратиграфического метода, хотя он очень тесно связан с последним. В настоящее время это самый динамично развивающийся метод в стратиграфии, что неудивительно на фоне всеобщего интереса к проблемам экологии. Данный метод базируется на этапах изменения сообществ организмов и абиотических компонентов внешней среды, тоже используется в расчленении и корреляции осадочных толщ. Он подразумевает определение стратиграфических единиц на основе биологических, экологических и седиментационных характеристик, что обозначается названием «палеоэкосистемный анализ».

Под экостратиграфией понимают:

- усиление роли палеоэкологических наблюдений и палеоэкологического анализа при биостратиграфических исследованиях;
- выделение фациально-зависимых стратонов, имеющих заведомо диахронные 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. При этом существенное значение имеют и для стратиграфии, так как фациальные изменения нередко приводят к тому, что строго одновозрастные отложения охарактеризованы существенно различными фаунистическими и/или

флористическими комплексами, и напротив, отложения заведомо разнофациальные содержат очень близкие или даже тождественные ассоциации фауны и/или флоры.

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

Для послойной корреляции разрезов используются *биостратигномические исследования*, выполняемые путём анализа литологических особенностей слоёв (характер конкреций и включений, тип слойчатости, наличие или отсутствие размывов на контакте слоёв и пачек, наличие или отсутствие следов жизнедеятельности организмов) 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.

Из всего выше указанного понятно, что экостратиграфия - это в определённой мере синтез палеонтологических и литологических данных. Из палеонтологической компоненты здесь анализируются не отдельные таксоны каких-либо групп, а именно, сообщества (ассоциации, комплексы). На основе экостратиграфического анализа делаются попытки построить шкалу сменяющихся в стратиграфической последовательности экозон, которые отражают смену состояний палеоэкосистем. Однако специальная иерархия подразделений этого типа пока ещё не разработана. Практически, чаще всего «экозоны» отражаются в единицах Общей и региональной стратиграфических шкал - системах, ярусах, «горизонтах» - и гораздо реже в комплексных зонах.

Экостратиграфический подход может помочь также в решении ряда других практических задач стратиграфии: разработке подробных стратиграфических схем отдельных районов, создании корреляционных схем межрегионального и даже субглобального масштаба (на основе выявления общих закономерностей развития разных палеобиогеографических провинций, областей и установления каких-либо палеоэкосистемных сукцессий, например, в связи с мировыми климатическими и эвстатическими циклами). Одно из направлений экостратиграфических исследований - это уточнение границ стратиграфических подразделений на основе выявления экологических перестроек.

В принципе экостратиграфия представляется настоящей «динамической» стратиграфией, вбирающей в себя био-, событийно-, лито- и

прочие стратиграфии и отражающей смену экосистем во времени. Можно сказать, что она является стратиграфией, освещённой с позиций экологического - в широком смысле - развития био- и литосфер. Всегда следует помнить, что она занимается не только технологией расчленения и корреляции осадочных толщ, но и историей развития древних оболочек Земли. Именно это даёт ей возможность на геоисторической основе выделять стратиграфические единицы разного типа.

Стоит ещё добавить, что изучение палеоэкосистем серьёзно обогащает биостратиграфию и палеонтологию массой новых фактов значительным количеством ранее неизвестных соотношений и, бесспорно, оказывает самое благотворное влияние на развитие общестратиграфических и общебиологических представлений.

5.20. Климатостратиграфический метод

Климатостратиграфические исследования представляют собой комплекс методов и приёмов для установления направленности и амплитуды климатических изменений, отражающихся в характере осадочных отложений. Это необходимо для детального внутрирусского расчленения и межрегиональной корреляции стратон. Климатостратиграфический анализ существенно увеличивает дробность стратиграфического расчленения осадочных толщ и помогает более надёжно 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 блоков в околополюсные широты - поздний рифей, ордовик, пермо-карбон и поздний кайнозой. Наиболее эффективны методы климатостратиграфии для подразделений и корреляции плиоценовых и четвертичных отложений кайнозоя. Надёжные данные получаются только при анализе результатов климатостратиграфических исследований, проведённых с использованием всех методов и приёмов. Это литологические, палеонтологические, геохимические, геоморфологические, изотопные и другие исследования осадков. Каждый из этих методов сам в какой-то мере способен свидетельствовать о температурном режиме и увлажнённости 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 определённым, свойственным только ему распределением тепла, влаги и ландшафтных условий, которые отражаются на составе органического мира, особенностях денудации и

аккумуляции осадков. Эмпирическим путём показано, что во времени каждый из параметров климата изменяется по волнообразной кривой, где пики и впадины 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 (рис. 50).

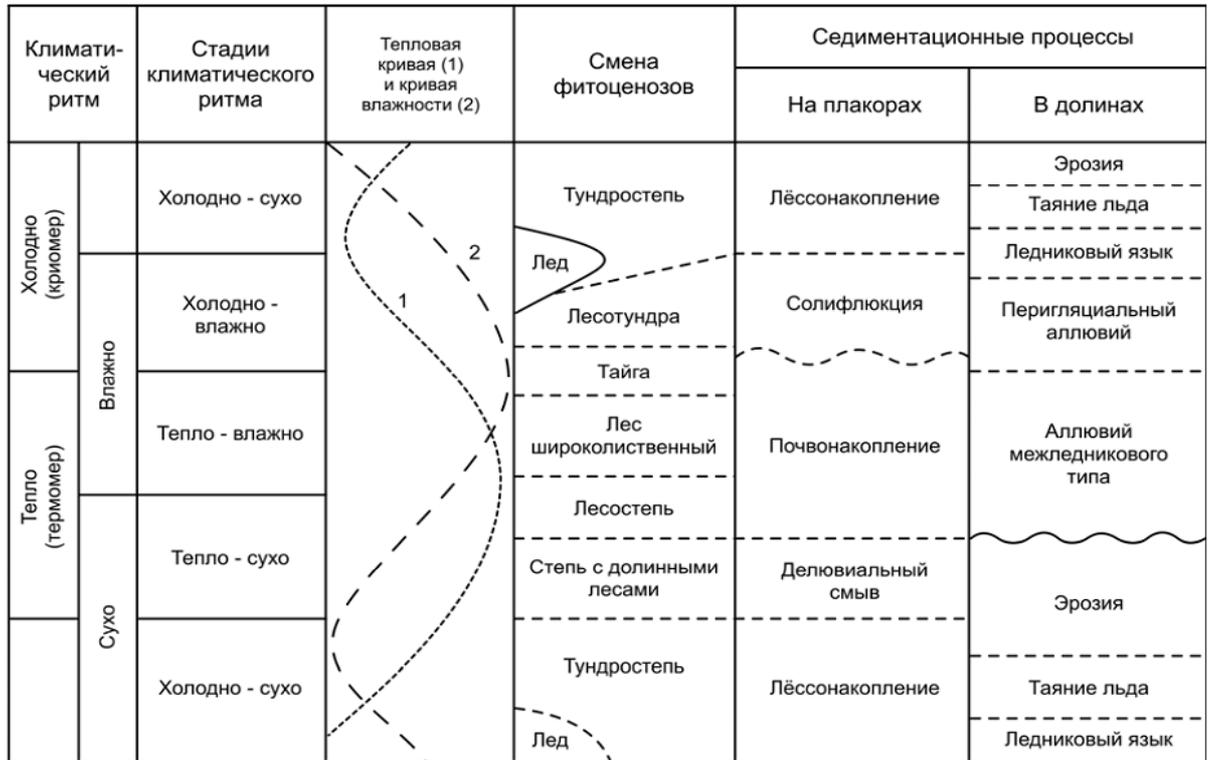


Рисунок 50 - Принципиальная схема климатического ритма в плейстоцене и соответствующего ему климатоседиментационного цикла для 50 - 55° с. ш. (Практическая стратиграфия, 1984)

Эти стадии объединяются в две полуволны: теплую и холодную (теплообеспеченность), с одной стороны, и влажную и сухую (увлажнённость) - 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 вздымание 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 отчётливо 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, который осложняет 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.

Известно, что каждому климатическому циклу с двумя полуволнами и четырьмя стадиями в разрезе отвечает определённый седиментационный цикл. Климатоседиментационные циклы представляют собой хорошо картируемые геологические тела. 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 миллионов лет.

Климатостратиграфический метод дополняет биостратиграфический, но не является самостоятельным. В то же время он позволяет более детально расчленять и сопоставлять многие ярусы фанерозойской эоноотемы.

5.20.1. Особенности геологических исследований в рамках климатостратиграфического метода

Исходя из того, что 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. Необходимы дополнительные исследования:

- 1) для детальных палеоклиматических реконструкций эффективно применяется выявление и классификация текстурных особенностей пород;
- 2) Выявление, описание и диагностика погребённых почв (палеопедология);

3) минералогический анализ олигомиктовых и полимиктовых минеральных ассоциаций, аутигенных компонентов;

4) установление физических и механических свойств осадочных образований (плотности, пластичности, влагоёмкости, компрессионных свойств и т. п.);

5) изучение химического состава отложений, особенно в горизонтах гипергенного преобразования (коры выветривания, почвы и т. п.).

6) палеонтологическое изучение миграций биоценозов, обусловленное изменениями климата, и в частности исследования изменения палинологической зональности как важнейшего индикатора стадийных особенностей изменений климата;

7) 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.

Поэтому в Стратиграфическом кодексе России (2006) существуют специальные климатостратиграфические подразделения.

5.20.2. Климатостратиграфические подразделения

Климатостратиграфические подразделения - это совокупности горных пород, признаки которых обусловлены периодическими изменениями климата, зафиксированными в особенностях вещественного состава пород и ассоциациях остатков организмов, преимущественно растительных, с учетом длительности формирования в стратонах соответствующего ранга.

Климатостратиграфические подразделения используются для четвертичных и неогеновых отложений, возможно, их использование и для более древних образований.

Границами климатостратиграфических подразделений являются *палеоклиматические рубежи*, которые фиксируются изменением литологического состава отложений, сменой ассоциаций организмов, климатических индикаторов, геохимической среды, седиментационных и диагенетических текстур и т.д. Климатостратиграфические критерии используются для выделения наиболее мелких единиц Общей стратиграфической шкалы - раздела, звена, ступени. Таксономическими единицами региональных климатостратиграфических подразделений являются климатолит и стадиал.

Раздел – таксономическая единица, которая используется в качестве подразделения, подчиненного отделу (надразделу) только четвертичной системы. Раздел имеет биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики и соответствует относительно длительному этапу развития климата, охватывая несколько крупных климатических ритмов. Стратиграфический объём раздела определяется совокупностью стратотипов звеньев или ступеней.

Звено - это отложения, объединявшие комплексы горных пород, которые сформировались во время одного цикла климатических изменений и подчинены разделу. Используются для отложений четвертичной (возможно, неогеновой) системы. Звено имеет биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики. Оно объединяет комплексы пород, образовавшихся за время нескольких климатических ритмов: похолодания и потепления (ледниковье, межледниковье) или увлажнения и иссушения (плювиал, арид). Звено должно иметь климатостратиграфическое (литолого-экологическое) обоснование, по возможности дополненное магнитостратиграфической характеристикой. При отсутствии собственного стратотипа объём звена определяется совокупностью стратотипов ступеней, входящих в его состав. Геохронологическим эквивалентом звена является *пора*.

Ступень - таксономическая единица, подчиненная звену. Используется для отложений четвертичной (возможно, неогеновой) системы. Выделяется на основании преимущественно климатостратиграфических критериев. Объединяет комплексы пород, сформировавшихся во время глобального (субглобального) похолодания или потепления климата. В средних широтах отвечает отдельному ледниковью или межледниковью, в тропическом поясе - крупному флювиалу или ариду. То есть в разных широтах потепление и похолодание проявляются в разных типах пород, которые составляют климатолит. Ступень должна иметь стратотип. Геохронологическим эквивалентом является *термохрон* – *криохрон*.

Климатолит - основная таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений, которая представляет собой совокупность горных пород, сформировавшихся во время одного климатического полуритма интенсивного похолодания (криомер) или потепления (термомер) и проявленного в региональном масштабе. В средних широтах он отвечает ледниковью или межледниковью, в тропическом поясе - влажному (плювиал) или сухому (арид) климату. Климатолитам, как правило, соответствуют ступени Общей стратиграфической шкалы и региональные горизонты верхней части четвертичной системы. Два смежных по разрезу климатолита, охватывающие климатический ритм (потепление + похолодание, арид + плювил), могут выделяться как дополнительное подразделение - *надгоризонт* региональной схемы или *климаторитм*. Климатолит должен иметь стратотип, который может быть ареальным. В качестве геохронологического эквивалента климатолита употребляются термины «*криохрон*» и «*термохрон*».

Стадиал - таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений, подчиненная климатолиту. Соответствует отложениям, сформировавшимся в течение кратковременных колебаний климата в пределах времени образования части климатолита в региональном масштабе (стадии оледенения и межстадиалы в криомерах, климатические оптимумы, промежуточные похолодания в термомерах и т.д.).

В соответствии с характером климатического режима употребляются термины «криостадиал» и «термостадиал». Стадиалы, как правило, отвечают региональным подгоризонтам, выделяемым в четвертичных отложениях. Стадиал должен иметь стратотип, который может быть ареальным. Геохронологическим эквивалентом стадиала является *стадия*.

Глава 6. Практическое значение стратиграфии и стратиграфическая основа

Стратиграфия является основой при регионально-геологических исследованиях, позволяющих понять особенности тектоники территории, определить направление поисков и разведки полезных ископаемых; особенно это относится к пластовым месторождениям (нефть, уголь, железные, марганцевые и полиметаллические руды, фосфориты, бокситы, каменные и калийные соли, чёрные урансодержащие сланцы, горючие сланцы, доломиты, глины и др.), которые строго приурочены к определённым стратиграфическим уровням. Без детального изучения стратиграфического разреза не могут быть составлены геологические карты и проведены различные геологические работы. Так, например, геологическая съёмка преследуют расчленение участков земной коры на определённые 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 служит стратиграфическая схема, построенная с учетом опорного разреза и скоррелированных с ним типовых разрезов, отражающих изменения объёмов и соотношений, выделенных стратонов или их стабильность на данной площади. Завершает разработку стратиграфической основы при геологическом картировании легенда к карте, охватывающая стратифицированные картируемые тела.

Стратиграфическая основа - это тот фундамент, на который опираются геологическая съёмка, тектонические и палеогеографические построения, выводы о возрасте и 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 съёмки достоверное расчленение стратиграфического разреза и корреляцию выделенных стратонов на всей площади работ. Главное в приведённом определении - это, во-первых, соответствие стратиграфической основы масштабу геологических работ и, во-вторых, её достоверность, что иногда называют надёжностью. 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 следующих работ:

- 1) комплексного изучения (или доизучения) опорного стратиграфического разреза;
- 2) изучения в пределах картируемой территории наиболее характерных, типовых, разрезов местных стратиграфических подразделений;
- 3) выявления корреляционных критериев и выделения маркирующих горизонтов;
- 4) установления особенностей расчленения и корреляции толщ, содержащих сингенетические полезные ископаемые;
- 5) составления местной стратиграфической схемы для картируемой площади;
- 6) составления легенды к картам.

Работы по созданию стратиграфической основы должны обеспечиваться комплексными литолого-стратиграфическими и палеонтологическими исследованиями, цель которых заключается не только в расчленении, датировки и корреляции разрезов, но и в восстановлении палеогеографии, условий накопления полезных ископаемых и т.д.

Общим условием создания стратиграфической основы для крупномасштабных геологических съёмок являются изучение возможно более полного опорного стратиграфического разреза для картируемой территории, расчленение его с необходимой степенью детальности, соответствующей масштабу съёмки или превышающей её. Для повышения эффективности и экономичности съёмочных 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 состояться из ряда разобщённых по площади разрезов. Опорный разрез должен изучаться теми методами, которые обеспечат расчленение, датировку и корреляцию отложений в соответствии с требованиями масштаба съёмки.

В глобальном аспекте важнейшим достижением стратиграфии является разработка планетарной шкалы, упорядочение, особенно во второй половине XX столетия, её теоретических основ том числе в виде национальных Стратиграфических кодексов, где даны определения главнейших понятий. В Стратиграфических кодексах выработана определённая система категорий, разработаны важнейшие, хотя и не совсем совершенные правила и обобщены основные принципы стратиграфии. Несомненно, они нуждаются в уточнении, но продолжают быть востребованными в практике геолого-съёмочных и геолого-поисковых работ национальных геологических служб. Сегодня на этой основе разработаны Региональные стратиграфические схемы, которые используются в создании серийных легенд к геологическим картам, в расчленении отложений на литостратиграфические подразделения, вскрытых скважинами при прослеживании продуктивных горизонтов на нефть, газ, при оценке перспектив на другие полезные ископаемые, при анализе кор выветривания, во многих обобщающих работах, в реконструкциях палеоклиматов, ландшафтов, палеогеографических

обстановок, палеотектонике, в систематизации процессов геологической истории, закономерностей распределения биофоссилий и эволюции органического мира и др. Всё это и есть та огромная практическая польза стратиграфии, которую она вносит в общее дело развития минерально-сырьевой базы конкретной страны.

Заключение

В данном электронном учебном комплексе по мере возможности освещены в доступной форме основные понятия, принципы, методы и направления современной стратиграфии. Необходимость подобной работы вызвана новым подходом к изложению такого рода материала студентам, изучающим геологические дисциплины на факультете горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета. Данный учебный комплекс иллюстрирован большим фактическим материалом, наглядно отразившим современное состояние научных достижений и раскрывающим практические возможности рассматриваемой дисциплины. К тому же достаточно обширный материал учебного комплекса может являться отчасти справочным материалом в практической и самостоятельной работе студентов, поскольку многочисленные сведения в нём заимствованы из различных раритетных изданий и по-мере возможности переработаны в доступной форме в процессе практического применения стратиграфии и многолетнего преподавания этой дисциплины в вузе.

Контрольные вопросы

1. Основные исторические этапы развития стратиграфии.
2. Определение (предмет) стратиграфии. Объекты её изучения.
3. Основная цель стратиграфии.
4. Основные задачи стратиграфии.
5. Место стратиграфии среди наук геологического цикла.
6. Значимость стратиграфии в сфере геологических знаний.
7. Понятие о стратонах. Разновидности стратонов.
8. Понятие о частном и сводном разрезах.
9. Стратиграфическое расчленение: определение, задачи, этапность.
10. Стратиграфическая корреляция: определение, разновидности.
11. Определения слоя и слоистости.
12. Основные характеристики слоя.
13. Основные типы залегания слоёв.
14. Основные случаи несогласного залегания слоёв.
15. Понятие о стратотипе. Требования к стратотипам.
16. Понятие о лимитотипе. Требования к лимитотипам.
17. Точка глобального стратотипа границы. Понятие об изохронности и диахронности границ.
18. Основные термины стратиграфии.
19. Стратиграфические шкалы. Типы стратиграфических шкал. Типы стратиграфических схем.
20. Основные стратиграфические кодексы.
21. Принцип актуализма (Ч. Лайеля).
22. Принцип условности (договоренности) (А.В. Попова - А.В. Гоманькова).
23. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции (Л. Долло - Ч. Дарвина).
24. Принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (Ч. Дарвина).
25. Принцип периодичности (ритмичности, цикличности и этапности) явлений и процессов.
26. Принцип палеонтологической сукцессии (Жиро-Сулави - В. Смита).
27. Принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (принцип А. Грессли – Э. Реневье).
28. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (принцип Н.А. Головкинского).
29. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Н. Стенона)
30. Принцип гомотаксальности (принцип Т. Гексли).
31. Принцип о синхронности сходных по составу (облику) горных пород (принцип А.Г Вернера).
32. Принцип биостратиграфического расчленения и корреляции (принцип В. Смита).

33. Принцип хронологической взаимозаменяемости стратиграфических признаков (С.В. Мейена).
34. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (Л.Л. Халфина - Д.Л. Степанова).
35. Понятие времени в геологии и стратиграфии. Его измерение.
36. Хроностратиграфические подразделения.
37. Шкала геологического времени: методика построения.
38. Основные методы стратиграфических исследований.
40. Литологический метод.
41. Признаки горных пород, лежащие в основе литологического метода.
42. Понятие о перерывах в осадконакоплении. Виды перерывов.
43. Выделение литостратонов на основе анализа общего облика горных пород.
44. Маркирующий горизонт: определение, значение для расчленения и корреляции.
45. Минералогический состав горных пород как признак при литостратиграфическом расчленении.
46. Изохронность литостратиграфических подразделений.
47. Особенности применения литостратиграфического метода на различных стадиях геологоразведочных работ.
48. Литостратиграфические и морфолитостратиграфические подразделения.
49. Тефростратиграфический метод.
50. Сравнительно-фациальный метод.
51. Определение и виды фаций.
52. Соотношение фаций и стратонов.
53. Значение фаций для стратиграфа.
54. Циклостратиграфический (ритмостратиграфический) метод расчленения и корреляции разрезов.
55. Типы циклитов и их масштаб.
56. Причины образования цикличности разного порядка.
57. Астростратиграфический метод.
58. Тектоностратиграфические (диастрофические) методы.
59. Геологические методы оценки относительного возраста.
60. Определение относительного возраста магматических пород.
61. Структурный метод.
62. Геохимический метод в стратиграфии.
63. Методика опробования.
64. Аналитическое определение содержания элементов в пробах.
65. Математическая обработка и интерпретация материалов геохимического опробования.
66. Определение, методы и значение хемотратиграфии
67. Основные положения изотопной стратиграфии.
68. Геохимия стабильных изотопов кислорода, значение для стратиграфии.
69. Геохимия стабильных изотопов углерода, значение для стратиграфии.

70. Геохимия изотопов стронция, значение для стратиграфии.
71. Пример изотопного изучения осадочных разрезов.
72. Импактно-стратиграфический метод.
73. Геохронометрические методы (общие положения).
74. Основные изотопные методы.
75. Уран-торий-свинцовый метод.
76. Калий-аргоновый и аргон-аргоновый методы.
77. Гелиевый метод.
78. Рубидий-стронциевый метод.
79. Стронциевый метод.
80. Лютеций-гафниевый метод.
81. Метод треков осколочного деления.
82. Радиоуглеродный метод.
83. Радиево-иониевый и ионий-ториевый методы.
84. Радиационные дозиметрические методы.
85. Нерадиологические методы.
86. Геохронометрические подразделения.
87. Метод молекулярных часов (примеры датировок).
88. Основные геофизические каротажные методы в стратиграфии и область их применения.
89. Применение электрокаротажа для решения стратиграфических задач.
90. Применение радиоактивного каротажа для решения стратиграфических задач.
91. Магнитные методы исследования скважин.
92. Применение акустического каротажа для решения стратиграфических задач.
93. Метод кавериометрии.
94. Магнитостратиграфический метод и его роль в стратиграфии.
95. Фактическое основание использования палеомагнитного метода.
96. Прямая и обратная намагниченность.
97. Магнитостратиграфические подразделения: определение, виды.
98. Магнитопольярные и магнитохронологические подразделения.
99. Региональные и местные магнитостратиграфические подразделения.
100. Сейсмостратиграфические методы в стратиграфии.
101. Сейсмостратиграфические подразделения.
102. Секвенс-стратиграфический метод: на чём основан, области применения.
103. Терминология и основные понятия секвенс-стратиграфии.
104. Парасеквенс: определение, типы пакетов.
105. Системные тракты.
106. Форма секвенсов
107. Два типа секвенсов: две седиментационные модели.
108. Значение секвенс-стратиграфического метода для бассейнового анализа.
109. Основные преимущества секвенс-стратиграфического метода.

110. Номенклатура и правила описания секвенс-стратиграфических подразделений.
111. Сущность, цели и история событийно-стратиграфической методики.
112. Событие (определение и виды), событийная стратиграфия (определение, сущность метода).
113. Глобальные события как реперы межконтинентальных корреляций.
114. Глобальные абиотические события.
115. Глобальные биотические и биологические события.
116. Региональные события.
117. Биостратиграфический (палеонтологический) метод в стратиграфии.
118. Принципиальные основы палеонтологического метода в стратиграфии.
119. Проблема неограниченности эволюционного процесса.
120. Проблема направленности эволюционного процесса.
121. Адаптиогенез и его основные формы.
122. Неравномерность эволюционного процесса.
123. Периодичность и этапность в развитии организмов.
124. Распространение ископаемых организмов в разрезе.
125. Архистратиграфические и парастратиграфические группы ископаемых организмов и их биостратиграфическое значение.
126. Биостратиграфическое расчленение разрезов.
127. Биостратиграфическая корреляция.
128. Метод руководящих форм, его сущность, преимущества, недостатки.
129. Метод анализа фаунистических и флористических комплексов, его сущность. Преимущества и недостатки метода.
130. Филогенетический метод: сущность, достоинства, недостатки.
131. Палеоэкологический (биостратономический) метод.
132. Палеогидрологический метод.
133. Количественные методы в биостратиграфии.
134. Специфика использования микропалеонтологических объектов в биостратиграфии.
135. Палинологический метод в стратиграфии. Его значение для корреляции морских и континентальных отложений.
136. Биостратиграфическое датирование.
137. Случаи, осложняющие применение палеонтологических методов в стратиграфии: бедность органическими остатками и их плохая сохранность, переотложение фоссилий; конвергенция, параллелизм, эндемизм, миграция, рекурренция.
138. Стратиграфические подразделения, выделяемые биостратиграфическим методом.
139. Биостратиграфическая зона и её виды.
140. Экостратиграфический метод.
141. Климатостратиграфический метод в стратиграфии.
142. Особенности геологических исследований в рамках климатостратиграфического метода

143. Сущность метода и его значение для стратиграфии квартера и неогена.
144. Климатостратиграфические подразделения.
145. Практическое значение стратиграфии и стратиграфическая основа.

Использованная и рекомендуемая литература

- Августин Аврелий. Исповедь; Петр Абеляр. История моих бедствий - М.: Республика, 1992. - 335 с.
- Афанасьев, С.Л. Геохронологическая шкала фанерозоя и проблема геологического времени / С.Л. Афанасьев. - М.: Недра, 1987. - 144 с.
- Био- и секвенсстратиграфия нефтегазоносных бассейнов. Тезисы докладов Второго международного симпозиума. – СПб.: ВНИГРИ, 1997. - 104 с.
- Бискэ, Г.С. Общая стратиграфическая шкала фанерозоя (венд, палеозой, мезозой) / Г.С. Бискэ, В.А. Прозоровский. - СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. - 248 с.
- Вассоевич, Н.Б. К методике палеонтологического изучения флиша / Н.Б. Вассоевич // Материалы ВСЕГЕИ. Палеонтология и стратиграфия. - 1948. - Сб. 5. - С. 34 - 63.
- Вернадский, В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. - Л.: Гостехиздат, 1926. - 170 с.
- Вернадский, В.И. Философские мысли натуралиста / В.И. Вернадский. - М.: Наука, 1988. - 520 с.
- Вилли, К. Биология / К. Вилли. – М.: Мир, 1968. - 808 с.
- Габдуллин, Р.Р. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие / Р.Р. Габдуллин, Л.Ф. Копаевич, А.В. Иванов. - М.: МАКС Пресс, 2008. - 113 с.
- Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов / под ред. П.П. Лоха. – М., 1999. – 524 с.
- Геологический словарь. - М.: Недра, 1973. - Т. 2. - 456 с.
- Гладенков, Ю.Б. Сейсмостратиграфический метод и секвентная стратиграфия в совершенствовании стратиграфических схем / Ю.Б. Гладенков, А.Е. Шлезингер // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографических реконструкций. - М.: ГЕОС, 2001. - С. 258 - 270.
- Гладенков, Ю. Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала XXI века) / Ю.Б. Гладенков // Тр. ГИН РАН. - М.: ГЕОС, 2004. - Вып. 551. - 120 с.
- Гладенков, Ю.Б. Поиски решения проблем современной стратиграфии - два направления / Ю.Б. Гладенков // Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи. М.: Геокарт, ГЕОС, 2013. – С. 9 – 20.
- Глухова, Л.В. Общая стратиграфия / Л.В. Глухова. – Красноярск: КИЦМ, 1992. – 78 с.
- Головкинский, Н.А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна / Н.А. Головкинский // Материалы для познания геологии России. - СПб., 1868. - Т. 1. - С. 273 - 415.
- Данбар, К. Основы стратиграфии / К. Данбар, Дж. Роджерс. - М.: Изд-во Иностранная литература, 1962. - 363 с.
- Дарвин, Ч. Происхождение видов / Ч. Дарвин. – М.–Л. : ОГИЗ ; Сельхозгиз, 1935. – 630 с.

Дополнения к Стратиграфическому кодексу России / Под ред. А.И. Жамойды, О.П. Ковалевского, Т.Н. Корень и др. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. - 112 с.

Жамойда, А.И. О подготовке второго издания Стратиграфического кодекса СССР. Основные положения проекта / А.И. Жамойда // Советская геология. - 1989. - № 2. - С. 49 - 56.

Зорина, С.О. Геохронология и проблемы Международной стратиграфической шкалы. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. – Казань, 2015. – 40 с.

Зорина, С.О. Хемостратиграфия. (Материалы к лекциям. Практические задания) / С.О. Зорина. – Казань, 2016. – 52 с.

История геологии / под ред. И. В. Батюшковой. – М.: Наука, 1973. - 315 с.

Итенберг, С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин / С.С. Итенберг. - М., Недра, 1972. - 312 с.

Карогодин, Ю.Н. Региональная стратиграфия (системный аспект) / Ю.Н. Карогодин. - М.: Недра, 1985. - 179 с.

Касумзаде, А.А. Стратиграфическая классификация, терминология, номенклатура и геохронометрия (Вопросы и проблемы) / А.А. Касумзаде. - Баку: «Nafta-Press», 2001. - 80 с.

Красилов, В.А. Эволюция и биостратиграфия / В.А. Красилов. – М.: Наука, 1977. - 255 с.

Краснов, В.И. Структура стратиграфической классификации и о проекте второго издания Стратиграфического кодекса СССР / В.И. Краснов, А.Ф. Морозов // Стратиграфия и палеонтология докембрия и фанерозоя Сибири. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1990. – С. 6 – 20.

Крумбейн, В.К. Стратиграфия и осадкообразование / В.К. Крумбейн, Л.Л. Слосс. - М.: Гостоптехиздат, 1960. - 410 с.

Круть, И.В. Исследование оснований теоретической геологии / И.В. Круть. - М.: Недра, 1973. - 201 с.

Кунин, Н.Я. Сейсмостратиграфия в решении проблем поиска и разведки месторождений нефти и газа / Н.Я. Кунин, Е.В. Кучерук // Итоги науки и техники. Сер. месторождения полезных ископаемых. - Т. 13. - М., 1985. - 200 с.

Лайель, Ч. Основные начала геологии: в 2 т. / Ч. Лайель. - СПб., 1868. - Т. 1. - 659 с.; Т. 2. - 562 с.

Леонов, Г. П. Основы стратиграфии / Г. П. Леонов. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – Т. 1. – 530 с.

Леонов, Г.П. Основы стратиграфии / Г.П. Леонов. – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – Т. 2. – 486 с.

Льноров, С.В. Основы стратиграфии / С.В. Льноров. - Сыктывкар: Изд-во СыктГУ, 2004. - 236 с.

Лярская, Л.А. Панцирные рыбы девона Прибалтики (*Asterolepididae*) / Л.А. Лярская. – Рига, 1981. - 151 с.

Маслов, А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных: учебное пособие / А.В. Маслов. - Екатеринбург, 2005. - 289 с.

Международный стратиграфический справочник / Под ред. Х.Д. Хедберга. - М.: Мир, 1978. - 226 с.

Международный стратиграфический справочник: сокращенная версия. Под ред. М. Мерфи, А. Сальвадор. Пер. с англ. М.: ГЕОС, 2002. - 38 с.

Мейен, С.В. Введение в теорию стратиграфии. М., 1974. - 186 с. Деп. в ВИНТИ, N 1749-74 Деп.

Мейен, С.В. Введение в теорию стратиграфии / С.В. Мейен. - М.: Наука, 1989. - 216 с.

Методические рекомендации по применению сейсморазведки ОГТ. - М.: ВНИИГеофизика, 1975. - 193 с.

Миланкович, М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата / М. Миланкович. - М., Л.: ГОНТИ; Ред. техн.-теорет. лит., 1939.

Мильничук, В.С. Общая геология / В.С. Мильничук, М.С. Арабаджи. - М.: Недра, 1989. - 333 с.

Модзалевская, Т.Л. Брахиоподы силура и нижнего девона и их стратиграфическое значение / Т.Л. Модзалевская // Силурийские и нижнедевонские отложения острова Долгого. - Свердловск: УНЦ АН СССР. - 1980. - С. 82 - 106.

Найдин, Д.П. Граница мела и палеогена / Д.П. Найдин / Границы геологических систем. - М.: Наука, 1976. - С. 225 - 257.

Найдин, Д.П. Сейсмостратиграфия и *seismostratigraphy* / Д.П. Найдин // Бюлл. МОИП. Отд. геол. - 1989. - Т. 65. - Вып. 1. - С. 14 - 23.

Николов, Т.Г. Биостратиграфия / Т.Г. Николов. - София: Наука и искусство, 1977. - 314 с.

Парамонов, А.А. Пути и закономерности эволюционного процесса / А.А. Парамонов // Современные проблемы эволюционной теории. - Л.: Наука, 1967. - 489 с.

Пейве, А.В. Тектоника и развитие Урала и Аппалачей - сравнение / А.В. Пейве // Геотектоника. - 1973. - № 3. - С. 3 - 13.

Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. - 128 с.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. - 160 с.

Попов, А.В. Измерение геологического времени. Принципы стратиграфии и закономерности эволюции. Учебное пособие / А.В. Попов. - СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2003. - 143 с.

Попов, И.Ю. Появление концепции направленной эволюции / И.Ю. Попов // Эволюционная биология: история и теория. - СПб., 2003. - Вып. 2. - С. 155 - 172.

Попов, И.Ю. Идея направленной эволюции: история и современность / И.Ю. Попов // Вестник СПбГУ. Сер. 7. - 2006. - Вып. 4. - С. 13 - 19.

Практическая стратиграфия / Под ред. И.Ф. Никитина, А.И. Жамойды. - Л.: Недра, 1984. - 320 с.

Прозоровский, В.А. Начала стратиграфии: учебник / В.А. Прозоровский. - СПб.: Изд-во СПбУ, 2003. - 228 с.

Прозоровский, В.А. Общая стратиграфия: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В.А. Прозоровский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 208 с.

Романовский, С.И. Великие геологические открытия / С.И. Романовский. - СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. - 224 с.

Рухин, Л.Б. Переходные формации / Л.Б. Рухин // Материалы Новосибирской конференции по учению о геологических формациях. Западно-Сибирский филиал Академии наук СССР, Горно-геологический институт. - Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1955. т. I. - С. 75 - 96.

Рычкова, И.В. Основы стратиграфии и геохронологии: учебное пособие / И.В. Рычкова; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 53 с.

Сейсмическая стратиграфия: использование при поисках и разведке нефти и газа. - М.: Мир, 1982. - 846 с.

Секвенс-стратиграфия нефтегазоносных бассейнов России и стран СНГ. Тезисы докладов. - СПб.: ВНИГРИ, 1995. - 124 с.

Силантьев, В.В. История возникновения современной стратиграфической классификации / В.В. Силантьев. - Казань: КГУ им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. - 46 с.

Силантьев, В.В. Основы стратиграфии: учебно-методическое пособие / В.В. Силантьев, С.О. Зорина. - Казань: Казанский государственный университет, 2009. - 81 с.

Симаков, К. В. К проблеме естественно-научного определения времени / К.В. Симаков. - Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1994. - 180 с.

Симаков, К. В. На пути к теоретической стратиграфии / К.В. Симаков. - Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1997. - 180 с.

Симаков, К.В. Введение в теорию геологического времени. Становление. Эволюция. Перспективы / К.В. Симаков. - Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1999. - 556 с.

Симаков, К.В. К созданию теории палеобиосферного времени: в 3 т. / К.В. Симаков. - Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2004. - Т. 1. - 340 с.; Т. 2. - 244 с.; Т. 3. - 347 с.

Соколов, Б.С. Биохронология и стратиграфические границы / Б.С. Соколов // Проблемы общей и региональной геологии. - Новосибирск: Наука, 1971. - С. 155 - 178.

Соколов, Б.С. Биосфера как биогеомерада и ее биотоп / Б.С. Соколов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. - Т. 18. № 3. - С. 3 - 8.

Стенон, Н. О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом / Н. Стенон. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 151 с.

Степанов, Д.Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований / Д.Л. Степанов // Труды ВНИГРИ. - 1958. - Вып. 113. - 180 с.

Степанов, Д.Л. Об основных принципах стратиграфии / Д.Л. Степанов. - Известия АН СССР, серия геологическая, 1967. - № 10. - С. 103 - 114.

Степанов, Д.Л. Общая стратиграфия (принципы и методы стратиграфических исследований) / Д.Л. Степанов, М.С. Месежников. - Л.: Недра, 1979. - 424 с.

Стратиграфические и геохронологические подразделения / Под ред. Л.С. Либровича. - М.: Госгеолтехиздат, 1954. - 87 с.

Стратиграфическая классификация и терминология / Под ред. А. П. Ротая. - М.: Гос. научно-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1960. - 59 с.

Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура / Под ред. А.И.Жамойды. - Л.: Недра, 1965. - 70 с.

Стратиграфический кодекс СССР / Под ред. А.И. Жамойды, В.Н. Верещагина, В.В. Меннера и др. - Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1977. - 80 с.

Стратиграфический кодекс / Под ред. А.И. Жамойды, Ю.Б. Гладенкова, А.М. Моисеевой и др. - СПб.: Изд-во МСК, 1992. - 120 с.

Татаринов, Л. П. Параллелизмы и направленность эволюции / Л. П. Татаринов // Эволюция и биоценотические кризисы. - М.: Наука, 1987. - С. 124 - 144.

Титоренко, Т.Н. Основы стратиграфии: проблемы и методы: учеб.-метод. пособие / Т.Н. Титоренко, А.Т. Корольков, А.В. Сизов, С.А. Анисимова. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. - 192 с.

Усов, М.А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края / М.А. Усов. - Томск: Изд-во Западно-Сиб. геол. треста. - 1936. - 209 с.

Хаин, В.Е. Историческая геология / В.Е. Хаин, Н.В. Короновский, Н.А.Ясаманов. - М.: Изд-во МГУ, 1997. - 448 с.

Хаин, В.Е. История и методология геологических наук: учеб. пособие для студ. вузов / В.Е. Хаин, А.Г. Рябухин, А.А. Наймарк. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 416 с.

Халфин, Л.Л. Принцип биостратиграфической параллелизации / Л.Л. Халфин // Труды СНИИГГИМС. - 1960. - Вып. 8. - С. 5-25.

Халфин, Л.Л. Теоретические вопросы стратиграфии / Л.Л. Халфин. - Новосибирск: Наука, 1980. - 200 с.

Холмовой, Г.В. Теоретические основы и методы стратиграфии / Г.В. Холмовой, В.Ю. Ратникова, В.Г. Шпуль. Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2008. - 154 с.

Шатский, Н.С. О неокатастрофизме / Н.С Шатский // Проблемы советской геологии, 1937. - № 7. - С. 532 - 551.

Шлезингер, А.Е. Региональная сейсмостратиграфия / А.Е. Шлезингер. - М.: Научный мир, 1998 - 144 с. (Тр. ГИН РАН, вып. 512).

- Шишкин, М.А. Необратимость эволюции и факторы морфогенеза / М.А. Шишкин // Палеонтол. журн. - 1968. - № 3. - С. 3 - 11.
- Ager, D.V. The nature of the stratigraphical record / D.V. Ager. - MacMillan Press. London, Wasingstone, 1973. - 114 p.
- Anthony, J.W. Geological stratigraphy: Geochronology. - Arizona Univ. Phys. Sci. Bull., 1955, N 2. - P. 82 - 86.
- Catuneanu, O. Principles of sequence stratigraphy / O. Catuneanu. Amsterdam. Elsevier. – 2006. - 375 p.
- Grabau, A.W. Principles of stratigraphy / A.W. Grabau. – New York, 1932. - 1185 p.
- Hedges, S.B. The Time Tree of Life / S.B Hedges, S Kumar.- New York: Oxford University Press, 2009. - 551 p.
- Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation // The American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1984. – Vol. 36. P. 1-184.
- International Stratigraphic Guide / Ed. A. Salvador. – Boulder, Colorado: The geological Society of America, 1994. - 214 p.
- Newell, N.D. Problems of geochronology / N.D. Newell // Proc. Acad. Sci. Philad., 1966. – Vol. 118, N 36. – P. 63 – 89.
- North American Stratigraphic Code // The American Association of Petroleum geologists Bulletin. - 2005. - Vol. 89, N 11. - P. 1547 - 1591.
- Remane, J. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphical standarts by the International Commission on Stratigraphy (ICS) / M.G. Bassett, J.W. Cowie, K.H. Gohrbandt, H.R. Lane, O. Michelsen, W. Haiwen // Episodes. - 1996. - V.19. - P. 77 - 81.
- Seismic Stratigraphy - Application to Hydrocarbon Exploration // Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem. 26. - 1977. - Vol. 11. - 516 p.
- Van Wagoner, J.C. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Out-crops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies / J.C. Van Wagoner, R.M. Mitchum, K.M. Campion, V.D. Rahmanian // Am. Assoc. Petrol.Geol. Methods in Exploration Series, 1990. - №. 7. - 55 p.
- Wells, J.W. Coral growth and geochronometry / J.W. Wells. - Nature, 1963. -Vol. 197, N 4871. - P. 948 - 950.
- Zuckerandl, E. Molecular disease, evolution, and genic heterogeneity / E. Zuckerandl, L. Pauling // In Horizons in Biochemistry, ed. by Kash & Pullman, Academic Press, New-York, 1962. - P. 189 - 225.
- Zuckerandl, E. Evolutionary divergence and convergence in proteins / E. Zuckerandl, L. Pauling // In Evolving Genes and Proteins, edited by V. Bryson & H.J. Vogel, Academic Press, New-York, 1965. - P. 97-166.

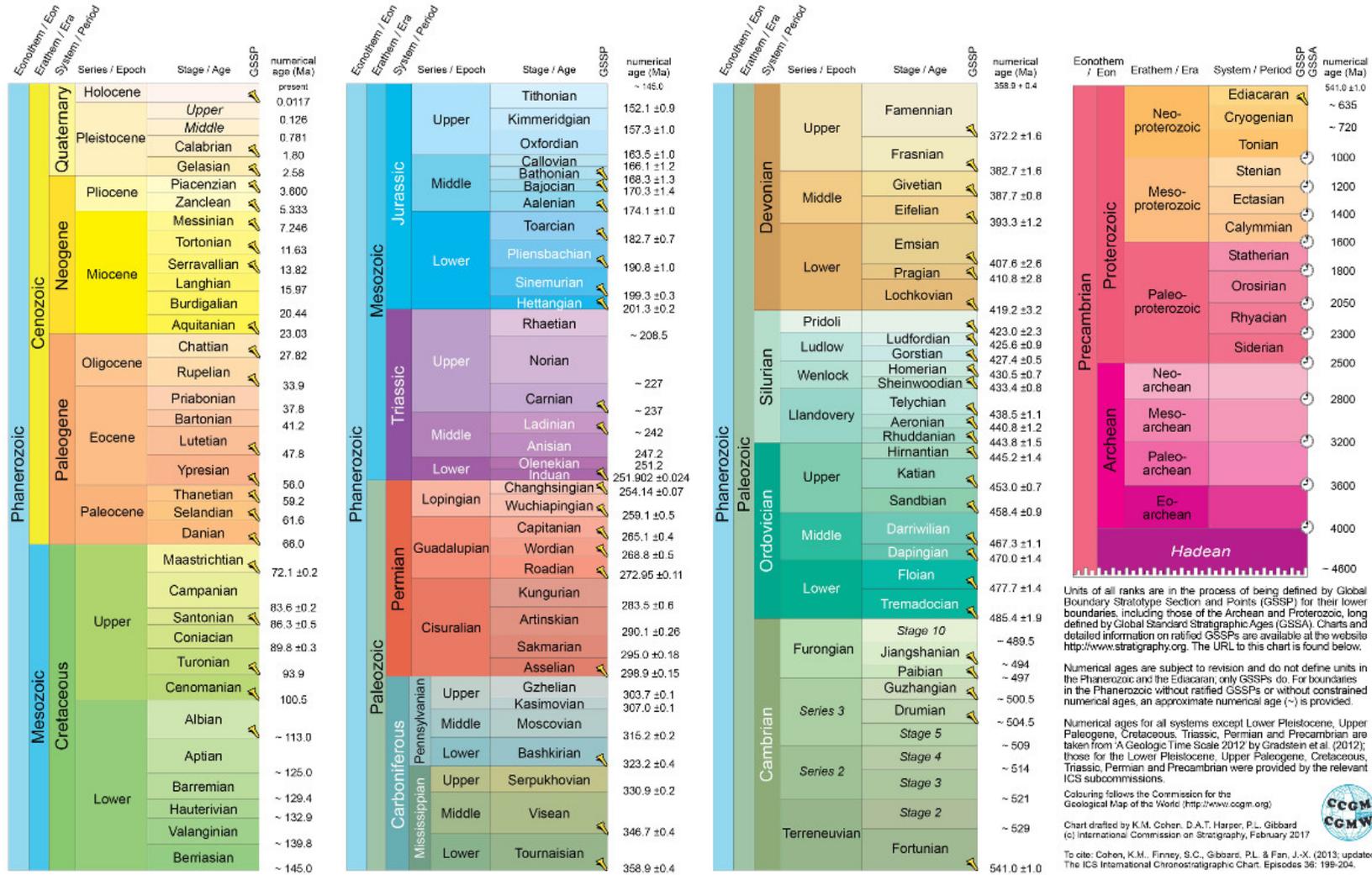
Международные стратиграфическая и геохронологическая шкалы INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART



www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2017/02



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran, only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (-) is provided.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommittees.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (<http://www.cgmw.org>).

Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, February 2017

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013), updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2017-02.pdf>

Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала

ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА РОССИИ - 2013

Эпоха	Эра	Система	Отдел	Ярус	
Фанерозойская	Кайнозойская	Четвертичная	Голоценовый		
			Плейстоценовый		
			Гелазский		
		Неогеновая	Миоценовый	Пьяченцкий	
				Занклский	
		Палеогеновая	Эоценовый	Мессинский	
				Тортонский	
				Серраваллийский	
				Лангийский	
				Бурдигальский	
	Мезозойская	Палеогеновая	Олигоценый	Хаттский	
				Рюпельский	
			Эоценовый	Приабонский	
				Бартонский	
				Лютетский	
		Палеогеновый	Ипрский		
			Танетский		
		Меловая	Верхний	Зеландский	
				Датский	
				Маастрихтский	
Кампанский					
Сантонский					
Нижний	Коньякский				
	Туронский				
	Сеноманский				
	Альбский				
	Аптский				
Меловая	Нижний	Барремский			
		Готеривский			
		Валанжинский			
		Берриасский			

Эпоха	Эра	Система	Отдел	Ярус
Фанерозойская	Мезозойская	Юрская	Верхний	Волжский
				Кимериджский
				Оксфордский
		Средний	Келловейский	
			Батский	
			Байосский	
			Ааленский	
		Нижний	Тоарский	
			Плинсбахский	
			Синемюрский	
	Триасовая	Верхний	Рэтский	
			Норийский	
			Карнийский	
		Средний	Ладинский	
			Анизийский	
			Опенёкский	
		Нижний	Индский	
			Вятский	
			Северодвинский	
			Татарский	
Пермская	Биармийский	Уржумский		
		Казанский		
		Кунгурский		
	Приуральский	Артинский		
		Сакмарский		
		Ассельский		
	Верхний	Гжельский		
		Касимовский		
		Московский		
		Башкирский		
Средний	Серпуховский			
	Визейский			
	Турнейский			

Эпоха	Эра	Система	Отдел	Ярус
Фанерозойская	Палеозойская	Девонская	Верхний	Фаменский
				Франский
			Средний	Живетский
				Эйфельский
				Эмский
		Нижний	Пражский	
			Лохковский	
		Силурийская	Пржидольский	
			Лудловский	
			Лудфордский	
	Горстийский			
	Венлокский			
	Лландоверийской	Теличский		
		Азронский		
		Рудданский		
	Верхний	Хирнантский		
		Катийский		
		Сандбийский		
	Средний	Дарривильский		
		Дапинский		
Флоский				
Нижний	Тремадоцкий			
	Батырбайский			
	Аксайский			
Верхний	Сакский			
	Аюсокканский			
	Майский			
	Амгинский			
	Тойонский			
Средний	Ботомский			
	Атдабанский			
	Томмотский			

Эпоха	Эра	Система	Отдел	Ярус	возраст, млн.л.
Протерозойская	Верхнепротерозойская	Рифейская	Верхнерифейская (Каратавская)	Вендская	600
				Среднерифейская (Орматинская)	1030
			Нижнерифейская (Бурзанская)	Верхнекарельская	1350
				Нижнекарельская	1650
				Верхнекарельская	2100
	Нижнепротерозойская (Карельская)	Верхнеархейская (Лопийская)	Верхнелопийская	Нижнекарельская	2500
				Среднелопийская	2800
				Нижнелопийская	3000
				Нижнеархейская (Саамская)	3200
					?

Общая стратиграфическая шкала (ОСШ) России является стандартом при проведении любых государственных геологических работ на территории Российской Федерации!

Подлежит свободному распространению среди геологов всех специальностей, студентов геологического профиля

Шкала подготовлена в Геологическом институте РАН (ГИН РАН) к конференции "Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства" (Москва, 23-25 мая 2013 г.) по материалам Постановлений Межведомственного стратиграфического комитета (МСК) России

Тираж 250 экз.
Москва, 2013