

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Серго ОРДЖОНИКИДЗЕ  
(МГРИ-РГГРУ)**

---

**Институт геологии минеральных ресурсов  
Кафедра палеонтологии и региональной геологии**

**Комаров В.Н., Андрухович А.О., Туров А.В.**

## **ОСНОВЫ СТРАТИГРАФИИ**

Учебное пособие по дисциплине “Основы палеонтологии, общая стратиграфия” для студентов, обучающихся по направлению подготовки “Прикладная геология”.

Москва 2018 г.

Основы стратиграфии. Учебное пособие. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2018. – 148 с.

В учебном пособии рассматриваются общие вопросы стратиграфии – предмет, задачи, основные операции, связь с другими дисциплинами, значение, история развития, проблема геологического времени, принципы. Приведены сведения о стратиграфических и геохронологических шкалах, стратиграфических перерывах, стратиграфическом кодексе, классификации стратиграфических подразделений, методах стратиграфии и последовательности стратиграфических исследований, обеспечивающих создание стратиграфической основы для геологического картирования. Приложения содержат именную указатель, словарь некоторых широко используемых в стратиграфии терминов и список основной рекомендуемой литературы.

Рецензент – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник ГИН РАН Н.Ю. Брагин.

## Оглавление

Введение.

1. Предмет, задачи и основные операции стратиграфии. Связь с другими науками и значение.
2. Краткая история развития стратиграфии.
3. Время в геологии и его измерение.
4. Основные принципы и обобщения, используемые в стратиграфии.
  - 4.1. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Стенона).
  - 4.2. Принцип гомотаксальности (принцип Гексли).
  - 4.3. Принцип хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип Мейена).
  - 4.4. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Степанова и Месежникова).
  - 4.5. Принцип актуализма (принцип Лайеля).
  - 4.6. Эмпирическое обобщение о неполноте геологической летописи (обобщение Дарвина).
  - 4.7. Эмпирическое обобщение о необратимости геологической и биологической эволюции.
5. Стратиграфические и геохронологические шкалы.
6. Стратиграфические перерывы.
7. Стратиграфический кодекс России.
8. Классификация стратиграфических подразделений.
9. Методы стратиграфии.
  - 9.1 Биостратиграфический метод.
    - 9.1.1. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии.
    - 9.1.2. Метод руководящих ископаемых.
    - 9.1.3. Метод анализа комплексов ископаемых.
    - 9.1.4. Эволюционный метод.
    - 9.1.5. Количественные методы.
    - 9.1.6. Микропалеонтология.
    - 9.1.7. Классификация биостратиграфических подразделений.
    - 9.1.8. Некоторые случаи, осложняющие применение биостратиграфического метода.
      - 9.1.8.1. Осложняющие факторы эволюционного порядка.
      - 9.1.8.2. Осложняющие факторы, связанные с расселением организмов.
      - 9.1.8.3. Переотложение ископаемых остатков.
  - 9.2. Литостратиграфический метод.

- 9.3. Циклостратиграфический метод.
- 9.4. Секвенс-стратиграфический метод.
- 9.5. Климатостратиграфический метод.
- 9.6. Экостратиграфический метод.
- 9.7. Тектоностратиграфический метод.
- 9.8. Магнитостратиграфический метод.
- 9.9. Сейсмостратиграфический метод.
- 9.10. Каротаж скважин.
- 9.11. Изотопно-геохронометрические методы определения возраста горных пород.
- 9.12. Определение относительного возраста магматических пород и рудных жил.
- 9.13. Последовательность стратиграфических исследований, обеспечивающих создание стратиграфической основы для геологического картирования.
  - 9.13.1. Знакомство с результатами предыдущих исследований.
  - 9.13.2. Полевые исследования.
  - 9.13.3. Камеральные исследования.
  - 9.13.4. Корреляция сводных разрезов различных структурно-фациальных зон.
  - 9.13.5. Составление региональных корреляционной и унифицированной стратиграфических схем.

Именной указатель.

Словарь некоторых широко используемых в стратиграфии терминов.

Рекомендуемая литература.

## **1. Предмет, задачи и основные операции стратиграфии. Связь с другими науками и значение.**

Стратиграфия (от латинских слов *stratum*-слой и *grapho*-описание) - это самостоятельная научная геологическая дисциплина, изучающая пространственные и временные соотношения нормально пластующихся толщ горных пород земной коры. В этом определении предмета стратиграфии отражено несколько важных положений. Во-первых, за стратиграфией признается статус самостоятельной геологической дисциплины. Это подразумевает наличие у нее собственных принципов, методов исследования и понятийно-терминологической базы. Во-вторых, отмечается, что стратиграфия изучает не горные породы как таковые, а их пространственные и временные соотношения. И, в-третьих, подчеркивается, что объектом анализа в стратиграфии является не вся земная кора, а только нормально пластующиеся толщи. Последние могут быть сложены осадочными и вулканогенными, как неизменными, так и метаморфическими горными породами. Нормально пластующиеся толщи горных пород являются главной, но не единственной категорией объектов, изучаемых стратиграфией. К ним также можно отнести и такие неслоистые образования, как рифовые массивы и соляные штоки. Изучение пространственно-временных соотношений магматических тел обычно выводят за рамки собственно стратиграфии.

Необходимо отметить, что некоторые ученые склоняются к более общему определению стратиграфии, предложенному С.В. Мейеном, согласно которому стратиграфия изучает пространственно-временные отношения комплексов горных пород (геологических тел) в земной коре [Мейен, 1986]. Такое определение позволяет включить в сферу стратиграфии не только слоистые осадочные образования, но в определенной мере и другие геологические тела (интрузивные и высоко метаморфизованные), которые также несут определенную “геохронологическую нагрузку”, но не всегда подчиняются принципу Стенона.

В настоящее время отечественными учеными признается единство стратиграфии как фундаментальной отрасли геологических наук, а не множества независимых друг от друга “стратиграфий”, отвечающих различным методам исследований.

Объектом стратиграфии является стратиграфическое подразделение (стратон). Все стратоны, являющиеся в большинстве случаев пластообразными телами, отделяются от смежных по разрезу стратонов стратиграфическими границами – поверхностями, ограничивающими данное стратиграфическое подразделение по подошве (нижняя граница) и кровле (верхняя граница). Не планетарные стратиграфические подразделения имеют также

латеральные границы (границы распространения). В ненарушенном залегании латеральные границы совпадают с выклиниванием толщи и представляют собой сложные поверхности, разграничивающие различные по составу фации. При установлении стратонов важнейшим требованием является выбор стратотипа как эталона, обеспечивающего стабильность единообразного понимания объема и общей характеристики стратона. Стратотипами могут служить естественные и искусственные обнажения, а также разрезы, вскрытые скважинами (последние при условии, что керн этих скважин сохраняется и доступен для изучения).

Главной задачей стратиграфии является установление последовательности формирования стратонов, имеющее конечной целью разработку универсальной Международной хроностратиграфической шкалы для датирования геологических событий и естественно - исторической периодизации истории земной коры.

Этой основной задаче стратиграфии подчинены две более частные задачи. Первая - расчленение разрезов, выделение последовательно сменяющих друг друга стратонов, отвечающих последовательным этапам развития тех или иных участков земной коры и их параллелизация. Это направление имеет своим результатом создание местных и региональных стратиграфических схем – своеобразной классификации слоев горных пород, отражающей конкретный ход процесса геологического развития той или иной территории. Второй задачей является проведение межрегиональной корреляции стратонов различных категорий и рангов. Это направление стратиграфических исследований и создает базу для совершенствования Международной хроностратиграфической шкалы, в основе которой лежит этапность геологического развития главным образом Западной Европы, поскольку именно здесь разрабатывались первые стратиграфические шкалы. Перечисленные задачи отражают последовательные стадии стратиграфических работ, от изучения конкретных разрезов до глобальных и теоретических обобщений. Однако каждая из них в свою очередь является и самостоятельным направлением научных изысканий, результаты которых имеют применение в геологии.

Как уже было отмечено, стратиграфические исследования, в конечном счете, сводятся к двум основным последовательным операциям: расчленению и параллелизации. Под стратиграфическим расчленением понимается выделение в изучаемом конкретном разрезе отдельных частей (стратонов), характеризующихся определенными признаками, и выяснение последовательности их залегания и соотношений между ними. Под конкретным разрезом следует понимать разрез, фактически наблюдаемый в определенной точке района исследований и дающий возможность непосредственно проследить последовательность залегания составляющих его конкретных геологических тел. Конкретный разрез в идеальном случае может быть представлен в одном обнажении или буровой скважине, вскрывающей

достаточно большую серию напластований. Однако гораздо чаще конкретный разрез составляется путем суммирования наблюдений по ряду близко расположенных и непосредственно дополняющих друг друга обнажений или буровых скважин. В качестве критериев, положенных в основу расчленения, можно использовать состав пород, их окраски, текстурно-структурные признаки, ископаемые остатки, характер намагниченности и многое другое. При расчленении разрезов некоторые признаки, например цвет породы можно легко проследить по всей мощности конкретного стратона. Другие признаки (палеонтологические, химические, палеомагнитные) обычно прослеживаются по выборочным пробам. Охарактеризовать ими всю мощность геологического тела часто просто физически невозможно, и границы в этом случае проводятся методами интерполяции и экстраполяции. Например, если в однородной толще известняков проба А выявила один комплекс ископаемых остатков, а проба Б – другой, граница проводится между точками А и Б методом интерполяции. Если мы установили комплекс окаменелостей А во всех пробах, взятых из слоя 1 и комплекс Б во всех пробах из слоя 2, то мы экстраполируем полученные данные на всю мощность обоих слоев, хотя они и не были опробованы целиком. Граница между этими слоями проводится в сущности не по смене комплекса А комплексом Б, а по признакам, сопутствующим этим комплексам окаменелостей.

С увеличением числа признаков в случае несовпадения границ выделенных по ним стратонов решение вопроса о выборе приоритетных границ усложняется. Он вообще не может быть решен однозначно, если все признаки считать равнозначными. Однако они таковыми обычно не являются, так как обладают разными возможностями, в том числе и для последующей параллелизации. Наибольший вес имеют признаки, позволяющие с предельной точностью и на максимально больших площадях прослеживать рассматриваемые стратоны и сопоставлять их с подразделениями Международной шкалы служащими мерой отсчета геологического времени. Весь опыт стратиграфии показывает, что наиболее важным методом установления границ стратонов всегда был и остается биостратиграфический метод. Установленные с его помощью уровни, как правило, и служат теми реперами, к которым привязываются границы стратонов, выделяемые по другим признакам. Следует также отметить, что любая граница, по существу, имеет комплексное, хотя бы в неявной форме обоснование и при этом может быть или более биотической или более абиотической.

Расчленение разрезов непрерывно совершенствуется и идет по пути детализации. В некоторых случаях удается добиться небывалой дробности расчленения, когда мощности выделяемых стратонов по сути дела становятся сопоставимы с размером содержащихся в них микроскопических ископаемых остатков.

Расчлняя разрез, мы одновременно устанавливаем в нем временную (хронологическую) последовательность стратонов. Для сопоставления и установления возрастных соотношений стратонов, выделенных в различных более или менее удаленных друг от друга разрезах используется стратиграфическая параллелизация. В пределах ограниченных территорий параллелизация иногда может быть произведена прямыми методами геологического картирования. Наиболее надежные результаты при этом могут быть получены в тех случаях, когда имеется возможность проследить каждый слой непрерывно, шаг за шагом. Конечно, такой метод непрерывного прослеживания, или “протягивания”, слоев применим только в условиях хорошей обнаженности при детальном исследовании. В тех случаях, когда параллелизация не может быть осуществлена прямыми методами и выполняется на основе косвенных сопоставлений, принято говорить о стратиграфической корреляции. Под корреляцией (от латинского слова *correlatio* - соотношение) понимается сопоставление между собой и установление возрастных соотношений стратонов удаленных друг от друга разрезов без непрерывного их прослеживания. Корреляция может быть локальной (местной) для нескольких конкретных разрезов одного района, региональной, охватывающей разрезы целого геологического региона и, наконец, межконтинентальной или даже глобальной.

Конечной целью параллелизации является синхронизация, то есть установление геологической одновозрастности, слоев и толщ в сопоставляемых разрезах. В идеальном случае подошва и кровля скоррелированных стратонов должны располагаться на одних и тех же стратиграфических уровнях, иначе говоря, быть изохронными (от греческих слов *изос-* равный, *хронос-* время). Границы же реальных геологических тел при прослеживании часто “скользят” во времени. В этом случае говорят о их диахронности (от греческих слов *диа-* сквозь, *хронос-* время).

Стратиграфия активно и взаимовыгодно “сотрудничает” со многими дисциплинами – палеонтологией, минералогией, литологией, исторической геологией, геохимией, геофизикой. Именно на стыке с другими науками происходило и происходит возникновение самых интересных новых направлений и методов стратиграфических исследований. В некоторых случаях совершенно неожиданно обнаруживается связь стратиграфии даже с науками, далекими от геологии. В частности, в рамках современной метеорологии можно анализировать необычайно активный (на тысячи километров) перенос пресноводных и морских диатомовых водорослей ураганами и смерчами. В некоторых случаях подобная транспортировка затрагивает даже крупные организмы. Так в 1954 г. ураган “Газель” перенес с острова Гаити на берег Северной Каролины на расстояние 1500 км куски бамбука, кокосовые орехи и тяжелые тропические раковины. Все эти данные имеют большое значение

для правильного понимания строения и образования древних толщ, ведь подобные явления наверняка были и в прошлом.

Стратиграфия является надежной основой всей геологии. Без стратиграфии с ее геоисторической концепцией геология до настоящего времени оставалась бы в значительной мере описательной наукой. Культура геологических исследований в любой стране определяется, прежде всего, уровнем ее стратиграфической изученности. С разработки стратиграфии начинается познание геологического строения и развития любой территории. Стратиграфические исследования имеют разнообразный выход в повседневную практику геологоразведочного дела. Они создают условия для осуществления региональных геологических работ, снабжая стратиграфической основой геологическую съемку различных масштабов. Они обеспечивают выявление закономерностей размещения, поиски и разведку месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения (в первую очередь горючих – нефти, природного газа и каменного угля), а также различные специальные, локальные и региональные исследования в области литологии, тектоники, гидрогеологии, инженерной геологии и т.д. Не следует также забывать, что стратиграфия является необходимой базой для любого историко-геологического исследования – от составления сводных обзорных карт геологического содержания до мировоззренческих обобщений планетарного масштаба.

## **2. Краткая история развития стратиграфии.**

Развитие стратиграфии, особенно в период ее зарождения и становления, неотделимо от истории геологии в целом. К предыстории стратиграфии можно отнести длительный период накопления фактов и наблюдений, подготовивших базу для возникновения стратиграфии как самостоятельной области геологии во второй половине XVIII века. К этому периоду относятся высказывания отдельных античных мыслителей об органической природе окаменелостей, основанные на этом выводы о водном происхождении известняков, заключающих окаменелые раковины моллюсков и первые описания палеонтологических остатков. В эпоху Средневековья естественные науки более активно, чем в Европе, развивались в странах Ближнего и Среднего Востока, в которых некоторые ученые дали рациональное истолкование нахождению в горах слоев, заключающих раковины морских организмов. С наступлением эпохи Возрождения в Европе в XV-XVI вв. начинается расцвет науки, проявившийся и в области естествознания. Близкие к современным представления об образовании земных слоев и возникновении окаменелостей изложил Леонардо да Винчи. Он также одним из первых отметил, что горы, на территории которых находят ископаемые

раковины, в прошлом были покрыты водами морей. В опубликованном в 1669 г. сочинении Н. Стенона, были впервые сформулированы некоторые обобщения о процессе образования осадочных слоев, в том числе один из основных принципов стратиграфии – принцип последовательности напластования. Н. Стенон правильно понимал природу окаменелостей. Анализируя крупные зубы ископаемых акул, он резонно предположил, что они принадлежали акулам крупного размера. К. Линней, создатель систематики, в 1758 г. впервые применил разработанную им бинарную номенклатуру к ископаемым организмам.

Становление стратиграфии как науки тесно связано с именами Ж.Л. Бюффона и М.В. Ломоносова, в работах которых утверждались идеи об органической природе окаменелостей, об эволюционном развитии мира, об огромной длительности истории Земли и о тех многократных изменениях, которые испытала ее поверхность. Одна из работ М.В. Ломоносова, вышедшая в 1763 г. называется “О слоях земных”. В ней можно найти не только описания конкретных разрезов с приведением литологической и палеонтологической характеристики отдельных напластований, но и соображения о способах образования слоистых горных пород. М.В. Ломоносов объяснял их происхождение осаждением в водных бассейнах и обосновывал это нахождением ископаемых раковин, литологическим составом и наблюдением над современными образованиями. Он выдвинул идею о геологическом времени, длительность которого неизмеримо превышает историю человечества (возраст Земли М.В. Ломоносов оценивал в 400000 лет). М.В. Ломоносов одним из первых стал использовать актуалистический подход к явлениям геологического прошлого, правильно расшифровав генезис янтаря, торфа и каменного угля. Одной из первых попыток создания возрастной классификации горных пород явилась схема, предложенная в 1760 г. Д. Ардуино, который на основе исследований в Северной Италии выделил первичные, вторичные и третичные отложения. Они явились прообразом палеозоя, мезозоя и кайнозоя соответственно. Установленные Д. Ардуино аллювиальные отложения позднее получили название четвертичных. Местом наиболее активной разработки стратиграфических идей и их практического применения для геологического картирования явилась Центральная Германия. Здесь во второй половине XVIII века рядом исследователей велась разработка региональной стратиграфической схемы, на базе которой возникли первые попытки создания универсальной стратиграфической шкалы. В 1762 г. схему осадочных образований Тюрингии предложил Г.Х. Фюксель. Он выделил девять толщ и для каждой толщи помимо литологического состава указал и характерные окаменелости. По сравнению с подразделениями предшественников и современников толщи Г.Х. Фюкселя были первыми в полном смысле этого слова стратиграфическими единицами, представляющими определенные комплексы отложений, которые по времени своего образования должны были

отвечать определенным промежуткам в истории Земли. Этим промежуткам Г.Х. Фюксель дал свои названия, создав прообраз параллельной классификации подразделений отложений и подразделений геологического времени. Последовательную смену комплексов ископаемых остатков в разрезе осадочных напластований установил и Ж. Сулави. В опубликованном в 1780 г. труде “Естественная история Южной Франции” он выделил несколько эпох, с различными комплексами окаменелостей. Первая эпоха – царство ископаемых моллюсков, вторая эпоха - царство ископаемых и современных моллюсков. Третья эпоха – царство современных моллюсков. Четвертая эпоха – царство современных рыб и растений. Пятая эпоха – окаменелые деревья и кости ископаемых животных. В вышедшей в 1795 г. книге “Теория Земли” Д. Геттон подчеркнул, что Земля не всегда имела нынешний вид, но претерпевала и претерпевает непрерывные изменения. Ценным во взглядах Д. Геттона является представление о значительной продолжительности геологического времени и длительности формирования земной коры и ее рельефа. Попытки создания возрастной классификации горных пород предпринимались рядом исследователей и в России. В частности в 1778 г. П. Паллас предложил выделять в земной коре первичные отложения, представленные гранитами и сланцами, не содержащими ископаемые организмы, вторичные отложения, сложенные известняками с остатками ископаемых морских организмов и третичные отложения, представленные рыхлыми отложениями предгорий. П. Паллас считал, что древнейшими породами являются граниты, слагающие ядра гор. Чем дальше породы отстоят от осевой части гор, тем они моложе и тем больше содержат остатков ископаемых организмов. По утверждению Ж. Кювье эти взгляды П. Палласа привели к зарождению всей новейшей геологии. В 1798 г. В.М. Севергин уже не ограничился делением пород по времени образования на три группы, и предложил выделять и послетретичные отложения, к которым он отнес песчаные горы и холмы. В.М. Севергин одним из первых отмечал, что чем древнее ископаемые остатки, тем сильнее они отличаются от современных организмов. Он также указывал на приуроченность тех или иных окаменелостей к конкретным толщам горных пород. К концу XVIII века был накоплен определенный опыт стратиграфического расчленения конкретных разрезов и их внутрирегиональной параллелизации на основе принципа последовательности напластования и литолого-петрографического метода. Последний оказался, однако, недостаточным для решения задачи корреляции разрезов удаленных друг от друга областей, необходимой для создания универсальной стратиграфической шкалы.

К рубежу между XVIII и XIX вв. относится возникновение в стратиграфии биостратиграфического метода. Развитие биостратиграфии в первой половине XIX вв., проходило в условиях господства в геологии идей катастрофизма, а в биологии концепции

постоянства видов. Впервые на практике те возможности, которые заключает использование для стратиграфии ископаемых остатков, показал В. Смит. Его деятельность инженера по прокладке каналов, а также разработке месторождений каменного угля дала ему возможность детального ознакомления с разрезами осадочных напластований Британских островов. Наблюдения В. Смита привели его к эмпирическому выводу о том, что “природа отвела каждому классу организмов свой собственный слой”, что отдельные слои разреза, последовательно налегающие друг на друга, могут распознаваться посредством содержащихся в них характерных комплексов ископаемых остатков. Свои выводы В. Смит изложил в 1799 г. в виде рукописной “Таблицы последовательности слоев окрестностей г. Бата”, которая содержала не только литологическую, но и палеонтологическую характеристику отложений. Эту таблицу можно рассматривать в качестве первой научно обоснованной стратиграфической схемы. В 1817 г. вышла работа В. Смита “Стратиграфическая система ископаемых органического происхождения”, представляющая собой каталог собранной им коллекции ископаемых. В этой работе было указано местонахождение каждого ископаемого остатка и его приуроченность к тому или иному слою. Всего В. Смит установил в Англии последовательность 34 слоев в основном юрского возраста. В. Смит, по сути дела, принадлежит заслуга выделения специальной отрасли геологии, занимающейся изучением и описанием слоев земной коры. Он, по-видимому, первым ввел в обиход для обозначения этого направления исследований термин “стратиграфическое”, применив его в заглавии своего сочинения “Стратиграфическая система ископаемых организмов”. Почти одновременно с В. Смитом и независимо от него палеонтологический метод для расчленения и параллелизации меловых и кайнозойских отложений был с успехом использован Ж. Кювье и А. Броньяром. В 1807 г они опубликовали сопровождавшееся геологической картой географо-минералогическое описание окрестностей Парижа и изложили геологическую историю этого региона. Ж. Кювье, в отличие от В. Смита, попытался дать научное объяснение последовательной смене комплексов ископаемых и предположил, что их причиной были катастрофы. Благодаря трудам В. Смита, Ж. Кювье и А. Броньяра молодая отрасль геологии – стратиграфия – обогатилась новым – палеонтологическим методом. В 1809 г. Ж.Б. Ламарк опубликовал книгу “Философия зоологии”, в которой он создал первый вариант эволюционной теории. Ж.Б. Ламарк полагал, что виды существуют только в течение определенного интервала времени и постепенно переходят один в другой. Он считал эволюцию необратимой и полагал, что развитие идет от низших форм к высшим. В 1810 г. Л. фон Бух ввел в обиход важнейшее стратиграфическое понятие – “руководящие формы”. Бурный рост стратиграфических исследований привел к тому, что на протяжении трех десятилетий в

первой половине XIX в. (этот период часто называют “героической эпохой” в развитии стратиграфии) были установлены почти все системы и значительная часть ярусов фанерозоя. Их выделение было произведено преимущественно на основе литологического метода и выяснения стратиграфических соотношений между отдельными частями разреза прямыми методами геологического картирования. Роль палеонтологического метода на этом этапе становления Международной стратиграфической шкалы была еще невелика, но уже к середине XIX в. очевидные преимущества палеонтологического метода выдвинули его на первое место по надежности среди известных в то время методов стратиграфии. В 1856-1858 гг. А. Оппель установил понятие фаунистической зоны и дал первое зональное деление юрских отложений Западной Европы. В 1859 г. была опубликована книга Ч. Дарвина “Происхождение видов”, которая сыграла решающую роль в превращении палеонтологии из формально-описательной науки об окаменелостях в подлинную науку о развитии органического мира прошлых геологических эпох. Идеи Ч. Дарвина были развиты В.О. Ковалевским, который считается основоположником эволюционной палеонтологии и создателем эволюционного (филогенетического) метода в стратиграфии. Теория эволюции неизмеримо расширила возможности использования палеонтологического метода в стратиграфии. Он стал основой наиболее дробного расчленения осадочных толщ, что было позднее на практике блестяще подтверждено многочисленными исследованиями как отечественных, так и зарубежных геологов.

Очень важным событием в развитии стратиграфии стала организация Международного геологического конгресса, первая сессия которого состоялась в 1878 г. в Париже. Его создание способствовало началу активного международного обмена результатами геологических исследований, обсуждению всех актуальных стратиграфических проблем, преодолению региональной ограниченности стратиграфических схем и, в конечном итоге, созданию Международной стратиграфической шкалы.

Огромных успехов достигла стратиграфия в XX веке. Они были связаны с геологическим картированием новых, еще не изученных территорий, с развитием тяжелой индустрии, которая потребовала огромной сырьевой базы, с началом многоплановых исследований дна Мирового океана, освоением космического пространства, проникновением в стратиграфию новых физических и химических методов исследования вещества. В частности, колоссальную поддержку стратиграфия получила в связи с развитием магнитостратиграфического и сейсмостратиграфического методов, а также способов изотопного измерения возраста горных пород. Развитию палеонтологического метода способствовали крупные успехи, связанные с совершенствованием методов и техники исследований, в частности с развитием бактериальной и молекулярной палеонтологии. В

настоящее время палеонтологический (биостратиграфический) метод, превратившийся в целый комплекс методов, сохранил в стратиграфии свои ведущие позиции. Создание геоинформационных систем и общая “цифровая” революция оказали решающее влияние на методические и методологические подходы к обработке и анализу получаемой информации.

### **3. Время в геологии и его измерение.**

Стратиграфия по своей сути является исторической наукой. В ней особую роль играет время, отражающее последовательность и длительность геологических событий. Временные координаты любого природного феномена являются установленными лишь тогда, когда указаны его возраст и продолжительность. Только установив, какое событие произошло раньше, а какое позже, можно восстановить причинно-следственные взаимоотношения между ними и понять закономерности, влияющие на развитие этих событий.

Время, как и пространство, движение, материя, принадлежит к числу фундаментальных философских категорий. Однако до сих пор проблема определения сущности времени – весьма трудная для понимания – представляется еще далеко не освещенной. Большинство из нас обычно не задумывается над тем, что такое время, интуитивно полагая, что это некая самостоятельная субстанция, в которую “погружены” происходящие в мире процессы.

Понятие о геологическом времени и его длительности было введено, видимо, Ж.Л. Бюффеном в книге “Теория Земли” в 1749 г. По его расчетам, жизнь на Земле возникла 38949 лет назад. Расчет был проведен по времени остывания железного слитка, который был принят в качестве модели нашей планеты.

В XVII в. оформились три основные концепции “времени”, которые конкурируют до сегодняшнего дня. Это субстанционная, реляционная и реляционно-генетическая концепции. Первая из них связана с именем И. Ньютона, который в 1687 г. опубликовал “Математические начала натуральной философии”, где впервые было обосновано разграничение абсолютного и относительного времени. Абсолютное время представлялось независимой, от чего бы то ни было, равномерно протекающей субстанцией, которая является как бы вместилещем всего сущего. Относительное время рассматривалось лишь как внешняя мера первого (концептуальное время). Ньютоновскому времени присущи определенные свойства: равномерность, однородность, непрерывность и изотропность. Появление концептуального времени как модели абсолютного привело к превращению времени в бесстрастный внешний параметр (“часы”).

В XX в. произошла замена субстанционной концепции на реляционную. Эта замена была проведена А. Эйнштейном, который убедительно показал, что время отдельно от событий не существует и представляет собой ничто иное, как их последовательность и длительность, то есть смену этапов, состояний направленных процессов.

Другая позиция в рамках реляционно-генетической концепции была занята В.И. Вернадским, который рассматривал время не как внешний параметр, а как инвариант любых явлений реального мира. Он показал, что реальное время обладает свойством анизотропности и циклически необратимой структурой. По В.И. Вернадскому, существует неразрывная связь пространства и времени: с течением реального времени меняется и состояние реального пространства. Таким образом, с позиций В.И. Вернадского, время представляет собой не столько количественную, как у И. Ньютона, сколько качественную характеристику любых явлений окружающего нас мира.

Дальнейшее развитие этих идей привело к выводу о необходимости различать два взаимно дополняющих понятия категории “время” – динамическое и статическое. Динамическое время является инвариантом процессов, непосредственно воспринимаемых в ощущениях. Статическое время представляет материализованные результаты, а точнее, следы как современных, так и прошлых процессов. Именно последнее – очень важно для стратиграфии. По взаимному расположению в пространстве этих следов можно судить и о самом времени, то есть о том, какое событие происходило раньше, а какое позже или одновременно. Наиболее просто геологическое время “считывается” при изучении разрезов толщ слоистых горных пород, которые можно сравнить с окаменевшими страницами созданной самой природой удивительной книги.

Справедливости ради, следует отметить, что основы реляционно-генетической концепции времени были заложены еще Н. Стеноном, затронувшим методологические подходы к проблеме геологического времени.

В геологии идеи рассмотренных концепций реализовались в создании Международной стратиграфической шкалы, отразившей хронологическую последовательность разнообразных событий истории формирования нашей планеты в нумерической (геохронометрической) шкале времени. Поэтому можно говорить о двух независимых направлениях в изучении времени: во-первых, относительной геохронологии, которая базируется на понятии планетарного (биосферного) времени и, во-вторых, геохронометрии, основанной на теории изотопного (“абсолютного”) времени. Принципиальное различие между ними состоит в том, что геологическая история в первом случае сама является “часами”, а во втором – имеет “часы” **на стороне**. Этим собственно и отличались воззрения на время Н. Стенона и И. Ньютона.

Относительная геохронология возникла на базе региональных стратиграфических данных. Продолжительность этапов развития отдельных регионов была принята за меру общих геохронологических подразделений, а последовательность этапов составила Международную геохронологическую шкалу, которая и используется в качестве эталонной системы геологического летоисчисления. Путем сопоставления с ней измеряется время других событий.

Эта шкала включает геохронологические подразделения нескольких соподчиненных рангов: акроны, зоны, эры, периоды, эпохи, века и фазы. Совокупность геологических образований, отвечающих этим хронологическим подразделениям, называют, соответственно, акротемами, эонотемами, эратемами, системами, отделами, ярусами и хронозонами. Продолжительность подразделений одного ранга в этой системе различна и каждая единица высокого ранга может охватывать различное число таких более низкого ранга. В этой же системе летоисчисления отсутствуют единицы, которые могли бы служить общим масштабом продолжительности ее подразделений, а также единицы, которые могли бы дать возможность оценить эту продолжительность в единицах обычной астрономической шкалы. Все это и дает основание называть такую систему летоисчисления – и, соответственно, геохронологическую шкалу – относительной.

Зарождение и развитие радиологии в XX в. позволило внести в систему летоисчисления реальную основу. Геохронометрия, основанная на теории изотопного времени, использует астрономическую систему летоисчисления, основной единицей которого является год – период обращения Земли вокруг Солнца. Так как основная единица масштаба времени (год) этой системы считается неизменной (“абсолютной”) по своей продолжительности, данная система получила в геологии название “абсолютная” (следует, правда, отметить, что имеются сведения об изменении продолжительности года в течение геологической истории Земли). Данные о продолжительности подразделений Международной шкалы постоянно корректируются, но существенным образом они уже не изменяются.

Применение в стратиграфии “абсолютной” шкалы, внешней по отношению к геологическим процессам, связано с определенными трудностями. В стратиграфической литературе можно найти парадоксальный ответ на вопрос о том, чем отличается относительное летоисчисление от “абсолютного”? Он звучит так: “Относительное летоисчисление абсолютно, а “абсолютное” относительно”. Действительно, подразделения геохронологической шкалы несут не только информацию об относительном возрасте тех или иных подразделений, но, что крайне важно, и о качественных их особенностях, которые отражают органический мир, палеогеографию и другие особенности времени формирования

этих подразделений, то есть являются несравненно более содержательными. Изотопное же время несет информацию только о событиях “запуска” локальных, связанных с системами минерального и породного уровней организации, радиологических часов, которые практически нельзя использовать для вычисления скорости и продолжительности процессов, связанных с конкретными палеоэкосистемами. Следует отметить, что отложения разных районов на уровне систем, отделов и ярусов по биосферным часам могут оказаться одновозрастными, а по радиологическим – разновозрастными. Это происходит в том случае, если используется “средневзвешенный” изотопный возраст, например, границ подразделений с применением метода усреднения имеющихся датировок, которые получены из удаленных и различающихся по своей истории регионов. Необходимо отметить и разную степень возрастной детализации в рамках относительного и “абсолютного” летоисчисления. Так смена комплексов аммонитов позволяет расчленить **аптский ярус на 8 зон. Поскольку продолжительность аптского века составляет около 6 млн. лет, то время накопления отложений одной зоны в среднем можно оценить в 750 тыс. лет.** Для этого уровня геологической истории ошибка в определении возраста изотопными методами составляет  $\pm 5$  млн. лет, что примерно равняется продолжительности одного века мелового периода. Возможность столь детального расчленения, которую в данном конкретном случае дает биостратиграфический метод, вряд ли может быть достигнута в обозримом будущем в результате изотопных датировок.

Анализируя геологическое время, невозможно не затронуть и проблему его огромности. Как считают ученые, возраст Земли составляет порядка 4,6 млрд. лет. Осознать эту цифру человеку, по понятным причинам привыкшему в своей повседневной жизни к небольшим промежуткам времени, очень трудно. Ч. Дарвин рассматривая в своей книге “Происхождение видов” проблему геологического времени в этой связи крайне удачно отметил, что размышления о нем “оставляют в уме такое же впечатление, как и напрасные попытки составить себе ясное представление о вечности” [Дарвин, 1952, с. 315].

#### **4. Основные принципы и обобщения, используемые в стратиграфии.**

Под принципами стратиграфии, как и любой другой научной дисциплины, обычно понимают наиболее общие основополагающие концепции, на которых базируются другие, более частные положения. Фундаментальными принципами стратиграфии обычно считают принцип последовательности образования геологических тел (принцип Стенона), принцип гомотаксальности (принцип Гексли) и принцип хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип Мейена). Все они связаны единой логикой, в чем как раз и заключается

предпосылка единства стратиграфии. К принципам стратиграфии следует также отнести принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Степанова и Месежникова). Другие упоминаемые в литературе “принципы” (а их насчитывается более десяти) или не являются таковыми (чаще всего это эмпирические обобщения), или выходят далеко за пределы стратиграфии или геологии в целом, являясь, таким образом, общегеологическими или общенаучными.

Указанные три фундаментальных принципа вместе составляют необходимую теоретическую основу стратиграфии и обеспечивают решение основных задач стратиграфии по выявлению пространственно-временных соотношений геологических тел. Однако практическое осуществление этого естественно не может не опираться и на другие принципы и обобщения.

#### **4.1. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Стенона).**

Формулировку данного принципа Н. Стенон дал в своей диссертации в 1669 г.: “при ненарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее покрывающего слоя”. Эта формулировка впоследствии уточнялась и расширялась. В 1974 г. С.В. Мейеном была предложена трактовка принципа Стенона, учитывающая не только то, как залегают породы, но и то, в какой последовательности они образовались: “временные отношения раньше/позже между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями и (или) генетическими связями” [Мейен, 1974]. Существуют и другие определения, однако все они справедливы только при ненарушенном залегании горных пород.

Принцип Стенона, с помощью которого в стратиграфию впервые пришло понятие времени, обеспечивает выполнение первой операции стратиграфии – расчленение единичного разреза нормально пластующихся толщ и выделение в нем стратонов. Данный принцип служит для перевода пространственных отношений контактирующих тел в отношения временные. С его помощью в любом конкретном разрезе становится возможным восстановление последовательности событий, запечатленных в породах, образующих геологические тела, или во встречающихся в них ископаемых остатках.

В реальной геологической обстановке использование принципа Стенона может привести к ошибочным результатам. Этому способствуют многочисленные случаи, когда нарушено первичное залегание пород. Подобное может произойти, если отложения залегают вертикально или опрокинуты, при оползневых процессах, в случае разнообразных

пластических и разрывных деформаций. Нарушение первичного залегания пород наблюдается в долинах рек, когда в русле происходит накопление молодых отложений, занимающих более низкое гипсометрическое положение, чем древние породы, развитые в бортах долин. Необычные случаи нарушения первичного залегания отмечаются также в районах развития грязевого вулканизма и в местах падения в прошлом крупных космических тел.

Если мы будем пытаться соотнести во времени события, запечатленные не в одном, а в двух разрезах, принцип Стенона не сможет помочь. Для этих целей используется принцип гомотаксальности.

#### **4.2. Принцип гомотаксальности (принцип Гексли).**

В 1862 г. Т. Гексли сделал в Лондонском геологическом обществе доклад, посвященный анализу вклада палеонтологии в геологическую науку. Благодаря союзу этих наук к тому времени было установлено, что одна и та же площадь Земли была последовательно заселена различными видами живых существ. Порядок этой последовательности, обоснованный в одном месте, довольно хорошо выдерживался и в других местах. Любая последовательность подразумевает время. Поэтому неудивительно, что соответствие в распространении окаменелостей давно уже стало рассматриваться многими учеными как соответствие и в возрасте, или как “одновременность”. Биостратиграфическая эквивалентность стала традиционно интерпретироваться как эквивалентность хронологическая.

Т. Гексли высказал сомнение в одновременности ископаемых фаун, в частности мелового периода на всей Земле. Он считал, что в условиях отсутствия катастроф, при медленном эволюционном развитии, смена фаун в разных местах в принципе не могла быть одновременной. Кроме того, он считал, что на миграцию фаун из одного региона в другой, несомненно, требуется значительное реальное время. Это неизбежно привело бы к тому, что в разных местах одинаковые фауны имели бы разный возраст. Т. Гексли высказался решительно против примитивного, по его мнению, понимания геологической одновременности, утверждая, что тождество ископаемых фаун не является доказательством синхронности пород, которые их содержат. Кроме того, Т. Гексли отметил, что даже крайняя степень несходства ископаемых фаун не доказывает, что породы, вмещающие их, отложились в разное время. По мнению Т. Гексли ни геология, ни палеонтология не располагают методом, при помощи которого можно было бы установить абсолютную синхронность двух слоев, и геологи не могут доказать, что слои, следующие друг за другом в

двух разрезах в одном и том же порядке, отложились одновременно. Исходя из этого, Т. Гексли утверждал, что понятие “геологическая одновозрастность” неясно и двусмысленно. Стратиграфия, по его мнению, выиграла бы, если бы понятие одновременность было бы заменено на нейтральный термин, совершенно исключающий понятие времени и указывающий лишь на соответствие последовательности слоев в разных разрезах по одинаково упорядоченным в них комплексам фауны и флоры. Для этого им был предложен термин “гомотаксис”, что в переводе означает сходство в порядке.

Позднее С.В. Мейен [1974] предложил применять понятие гомотаксальности при сопоставлении разрезов не только по палеонтологическим, но и по любым другим признакам или отражаемым ими событиям. Он дал такую формулировку принципа Гексли: “стратиграфическая корреляция разрезов, если непосредственное прослеживание невозможно, осуществляется сопоставлением гомотаксальных, то есть идентичных последовательностей признаков, в том числе следов обстановок и событий прошлого” [Мейен, 1974].

Принцип Гексли обеспечивает вторую важнейшую операцию стратиграфии – параллелизацию. После установления в разных разрезах последовательностей каких-то признаков составляются гомотаксальные последовательности, с помощью которых разрезы и сопоставляются. Для последующей синхронизации разрезов из нескольких гомотаксальных последовательностей выбирается только одна (зачастую сделать такой выбор необычайно трудно, из-за того, что все последовательности примерно равнозначны), которая условно и рассматривается в качестве наиболее надежного средства установления одновременности слоев. Можно сказать, что одновременность – это одна из гомотаксальностей, установленная по признакам, которым по тем или иным соображениям придан наибольший вес.

Гомотаксальность, доведенная Т. Гексли до крайности, означавшая отказ от изучения развития органического мира и от возможности создания периодизации геологической истории Земли (поскольку история немыслима без хронологии, хотя бы относительной), была подвергнута критике рядом ученых и в частности Ч. Дарвиным. Тем не менее, следует признать, что, при параллелизации разрезов в распоряжении стратиграфов нет ничего другого, кроме гомотаксиса. Проблема заключается лишь в установлении того, какая из множества всегда существующих гомотаксальных последовательностей максимально приближает сопоставление к синхронизации в физическом времени.

### 4.3. Принцип хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип Мейена).

Принцип Гексли, как было показано ранее, обеспечивает корреляцию разрезов, в которых есть идентичные гомотаксальные последовательности. К сожалению, он не может помочь при сопоставлении разрезов, которые образовались в разной обстановке и в которых нет не только идентичных последовательностей, но и просто общих признаков. Для решения этой задачи используется принцип хронологической взаимозаменяемости признаков, который имеет следующую формулировку: 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.

Комплексная характеристика любого конкретного стратона может проявляться по-разному в пределах его географического распространения. Из-за того, что каждый стратиграфический признак неизбежно ограничен в своем площадном распространении, любой комплекс признаков рано или поздно расщепляется по простиранию на подкомплексы, которые ассоциируют с какими-то новыми, отсутствовавшими первоначально признаками. Использование принципа Мейена подразумевает попеременное прослеживание взаимозаменяемых признаков стратона в пространстве – от разреза к разрезу. Можно привести следующий пример. В районе А в слое совместно встречены аммониты и остракоды. В районе Б – остракоды и остатки растений. В районе В – остатки растений и позвоночных. Проследив эту смену комплексов окаменелостей в пространстве, мы сможем в итоге сопоставить казалось бы, несопоставимое – аммониты и остатки позвоночных, которые и будут хронологически взаимозаменяемы.

Принцип Мейена потенциально позволяет сопоставлять отложения любого происхождения, любых климатических поясов и на любом удалении, вплоть до планетарного масштаба. Тем не менее, следует отметить, что практическая реализация данного принципа при прослеживании стратонов на большое расстояние наталкивается на большие трудности. Это связано с тем, что замена одного признака другим всегда происходит с некоторым приближением. Это придает прослеживаемым границам стратонов вероятностный характер. Они становятся все более расплывчатыми по мере удаления от стратотипов и при вовлечении для их распознавания все новых и новых признаков. Иначе говоря, точность прослеживания границ стратонов обратно пропорциональна числу используемых для этого взаимозаменяемых признаков.

#### **4.4. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Степанова и Месежникова).**

Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений, который также часто называют принципом уникальности стратонав, может быть сформулирован следующим образом: стратиграфические подразделения, представляя реальный результат геологических событий, объективно отражают сущность этих событий и не повторяются во времени и в пространстве. Данный принцип является следствием философского положения об уникальности и реальности любых, взятых во всем комплексе их свойств, природных объектов, что обусловлено необратимостью эволюции Земли. Из уникальности природных объектов следует и их обязательная анизотропность (свойства любого геологического тела меняются в пространстве) и гетерогенность (каждое геологическое тело состоит из частей, хоть в чем-то отличающихся друг от друга). Именно из этих свойств, кстати говоря, следует рассмотренный ранее принцип хронологической взаимозаменяемости признаков.

Всем вам хорошо известно высказывание Гераклита о том, что невозможно дважды войти в одну и ту же реку. Это высказывание образно объясняет неповторимость стратонав, так как неповторимыми являются и условия, в которых они формировались.

#### **4.5. Принцип актуализма (принцип Лайеля).**

Принцип актуализма лежит в основе любого исторического исследования, в том числе и историко-геологического анализа. Как уже было отмечено ранее, одним из первых стал использовать актуалистический подход к явлениям геологического прошлого М.В. Ломоносов. Однако обычно основоположником данного принципа называют Ч. Лайеля, который на основе огромного фактического материала развил идеи Леонардо да Винчи, М.В. Ломоносова и других естествоиспытателей.

До работ Ч. Лайеля ученые обычно искали разгадку явлений прошлого в прошлом, совершенно не обращая внимания на современные процессы. Ч. Лайель же стал искать разгадку прошлого в настоящем. В 1826 г. в письме к геологу Мантеллю он писал: “Я давно уже держусь такого же мнения, как и Ламарк насчет древности Земли и скоро попытаюсь убедить своих читателей в справедливости этого еретического мнения. Я намерен писать о единстве прежних и нынешних сил”. В 1828 г. он совершил экспедицию во Францию и Италию, где изучил третичную систему. Ч. Лайель выделил эоцен, в котором господствовали формы, отличающиеся от современных, миоцен, в котором древние и современные формы

были в равной пропорции и плиоцен, в котором преобладали современные формы. На основании этих данных Ч. Лайель сделал вывод о том, что третичная и современная эпохи представляют собой неразрывное целое, а фауна в течение этого времени менялась совершенно постепенно. После этой поездки Ч. Лайель подчеркивал, что “с древнейших времен до наших дней не действовали никакие другие причины кроме тех, которые ныне действуют, и действие их всегда проявлялось с той же энергией, какую они проявляют ныне”. В течение 1830-1833 гг. Ч. Лайель опубликовал фундаментальный трехтомный труд “Основные начала геологии”, в котором показал, что, изучая современные геологические процессы, мы можем судить о том, как они протекали в прошлом. Ч. Лайель дал такое определение принципа актуализма: “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”. Следует отметить, что Ч. Лайель понимал актуализм упрощенно, считая, что настоящее – ключ к прошлому. Признание неизменности явлений прошлого и настоящего привело Ч. Лайеля к униформизму. Позднее было доказано, что многие явления прошлого не имеют аналогов в настоящем и некритическое проецирование настоящего в прошлое может привести к ошибочным выводам. Сейчас используется сравнительно-исторический аспект принципа актуализма, учитывающий при реконструкции обстановок прошлого произошедшие на Земле необратимые изменения. При этом надо учитывать, что чем дальше от нас удалена геологическая эпоха, тем сильнее она отличается от современности.

#### **4.6. Эмпирическое обобщение о неполноте геологической летописи (обобщение Дарвина).**

Представление о неполноте геологической летописи было разработано Ч. Дарвиным в книге “Происхождении видов”, первое издание которой было опубликовано в 1859 г. Появление этого обобщения не случайно связано с возникновением эволюционного учения. Оно было выдвинуто Ч. Дарвином в противовес представлениям Ж. Кювье, Л. Агассиса, И. Барранда и других катастрофистов. В рамках господствовавшего креационизма филогенетическая преемственность таксонов не была обязательной, а ее отсутствие можно было связать не с неполнотой геологической летописи, а с внезапными творческими актами и одновременным изменением органического мира на всей Земле. Главное значение своей идеи о неполноте летописи, Ч. Дарвин видел в том, что она снимала одно из наиболее очевидных и серьезных затруднений, испытываемых теорией естественного отбора, и позволяла дать рациональное объяснение редкости нахождения связующих звеньев, которые

в соответствии с эволюционной концепцией неизбежно должны были существовать в прошлые геологические эпохи. В этой связи Ч. Дарвин писал: “Я не скрываю, что я никогда и не заподозрил бы, насколько скудны геологические памятники в наилучше сохранившихся геологических разрезах, если бы отсутствие бесчисленных связующих звеньев между формациями, не было столь веским аргументом против моей теории” [4, с. 326].

Неполнота геологической летописи имеет два различных аспекта. Первый, подчеркивающий то обстоятельство, что значительная часть геологического времени не документирована породами и приходится на перерывы, может быть обозначен как положение о неполноте стратиграфической летописи. Вторым аспектом является неадекватность палеонтологической летописи, свидетельствующая о том, что окаменелости, заключенные в горных породах представляют собой лишь незначительный процент форм, населявших Землю в прошлом.

Масштабность высказанной Ч. Дарвиным идеи о том, что в напластованиях горных пород запечатлена лишь малая доля геологической истории, а большая ее часть приходится на перерывы, трактуется исследователями по-разному. Согласно [Мейен, 1989], принцип Ч. Дарвина является эмпирическим обобщением, выходящим далеко за пределы стратиграфии, ограничивающим полноту всех историко-геологических построений и лежащим в фундаменте всей геологии. В этой связи положение Ч. Дарвина можно свести к общему утверждению, что каждый конкретный разрез может оказаться неполным, т. е. иметь перерывы и не содержать органических остатков, которые найдены в других разрезах.

Геологическая летопись, являющаяся результатом бесконечно сложного взаимодействия процессов накопления, размыва и переноса осадков, получила у Ч. Дарвина научное объяснение характера ее пробелов. На многочисленных примерах он дал ясное представление об огромной длительности геологического времени, посчитал его фактором, чрезвычайно существенным для оценки силы деструктивных процессов и показал, что чем древнее отложения, тем меньшее число фактов они дают в совокупности имеющегося материала. Поняв сущность проблемы неполноты геологической летописи, Ч. Дарвин предложил для нее очень точное и изящное сравнение: “я смотрю на геологическую летопись, как на историю мира, не вполне сохранившуюся, написанную на изменявшемся наречии, - историю, из которой у нас имеется только один последний том, относящийся к двум или трем странам; от этого тома сохранилась лишь там и сям краткая глава, и от каждой страницы уцелело местами только по несколько строчек. Каждое слово медленно изменявшегося наречия, более или менее различного в последовательных главах, представляет собой формы жизни, которые погребены в наших последовательных формациях и которые мы ошибочно считаем появившимися внезапно” [4, с. 333]. Ч. Дарвин

дал четкое определение стратиграфического аспекта неполноты геологической летописи, обусловленной существованием многочисленных перерывов, в течение которых не только не накапливались осадки, но и могли активно уничтожаться ранее образовавшиеся толщи. Важнейшая в теоретическом отношении мысль была высказана Ч. Дарвином по поводу того, что “мы недостаточно оцениваем те промежутки времени, которые отделяют наши последовательные формации одну от другой и которые во многих случаях были, быть может, более продолжительными, чем время, необходимое для отложения каждой формации” [4, с. 327]. Ч. Дарвин полагал, что в пользу этого свидетельствуют частые и значительные перемены в минеральном составе следующих одна за другой формаций, для чего были необходимы требующие огромного времени значительные изменения в географии окружающих стран, доставлявших материал для осадков. Кроме того, Ч. Дарвин гениально предугадал, что помимо явных перерывов, отделяющих отдельные формации одну от другой, существуют продолжительные, но легко ускользающие от внимания, скрытые перерывы. Он говорит об этом в следующих словах: “Когда мы наблюдаем, как это часто случается, формацию, сложенную из слоев различного минералогического состава, мы вправе предположить, что в процессе отложения ее были большие или меньшие перерывы. И самое внимательное исследование какой-либо формации не дает нам никакого понятия о продолжительности времени, какое было нужно для ее отложения” [4, с. 322].

Идея Ч. Дарвина о том, что большая часть геологического времени приходится на перерывы, нашла дальнейшее развитие в трудах многих ученых. При этом было подтверждено, что наряду с крупными перерывами, которые фиксируются несогласиями, важная роль в неполноте геологической летописи принадлежит бесчисленным коротким не различающимся визуально мелким перерывам - диастемам. Последние обычно неразличимы в разрезах, но их бесконечное количество приводит к ощутимому сокращению полноты разрезов. Даже приблизительные оценки степени неполноты фактического материала показали значительное превышение интервалов времени перерывов над суммарным периодом осадконакопления. В большинстве работ указывается, что в разрезах фанерозоя породами зарегистрировано в лучшем случае 10-30% геологического времени.

В последнее время благодаря изучению разрезов осадочных толщ методами микропалеонтологии и сейсмостратиграфии в сочетании с данными бурения на суше и на дне океанов получен весьма ценный материал. Сейсмические разрезы наглядно показали, что седиментация представляет непрерывно-прерывистый процесс, с неоднократным частичным размывом и переотложением осадков. Полученные данные убедительно свидетельствуют об огромном масштабе подводных размывов и их выдающейся роли в формировании неполноты геологической летописи. Значительные успехи достигнуты в детализации

биозональных шкал, которые во многом позволили расшифровать общие закономерности образования и распространения перерывов, предложить модели их формирования и оценить полноту разрезов.

В своей работе Ч. Дарвин описал сущность палеонтологического аспекта неполноты геологической летописи и наметил основные причины ее образования. Он высказал твердое убеждение, что многообразие жизни в прошлом было несравненно больше, чем это дается фактическим материалом, характер которого во многом определяется совершенно случайными обстоятельствами. Подмеченные им факты свидетельствовали, что число известных нам видов, установленных часто по единственному и нередко неполному экземпляру или по немногим экземплярам, собранным на небольшой территории, совершенно ничтожно в сравнении с существовавшими ранее. Ч. Дарвин совершенно правильно оценил тот факт, что практически не имеют шансов сохраниться бесскелетные организмы и существа, местообитания которых препятствуют погребению остатков. Рассматривая процессы захоронения морских животных, Ч. Дарвин отметил, что раковины и кости также будут подвергнуты неизбежному разрушению, если не будут покрыты осадками.

В связи с тем, что каждая область земного шара подвергалась медленным, охватывающим огромные пространства колебательным движениям, осадочные породы непременно попадали на сушу, где подвергались разрушению. Исходя из этого, Ч. Дарвин заключил, что для надежного сохранения остатков организмов покрывающие их осадки обязательно должны иметь значительную площадь распространения и большую мощность. Ч. Дарвин верно понял, что огромное значение для захоронения имеет скорость осадконакопления, влияющая и на уменьшение деструкции танатоценозов и на повышенную сохранность тафоценозов. Решающее значение для образования мощных толщ, богатых разнообразными и многочисленными ископаемыми Ч. Дарвин придавал длительному, компенсированному прогибанию в условиях мелкого моря, где органическая жизнь процветает. Необходимо отметить, что выявленная Ч. Дарвином закономерность, что в геологической летописи сохраняются преимущественно мощные, широко распространенные толщи в обстановке быстрого прогресса тафономии, была позднее блестяще подтверждена на примере анализа не только морских, но и континентальных отложений. Ч. Дарвин был сторонником того, что, несмотря на множество неблагоприятных факторов, морские осадки лучше сохраняются во времени, чем континентальные, и связывал это с большими размерами областей морского осадконакопления и меньшей вероятностью размыва. Ч. Дарвин правильно оценивает масштаб комплексного разрушения отложений на суше речной эрозией, денудацией, абразией и другими процессами, в результате чего огромные массы породы, содержавшие большое число документов об истории древней жизни были удалены с

поверхности многих значительных областей. Правильность высказанных Дарвиным положений об особенностях захоронения остатков на суше и о тех превращениях, которые с ними могут произойти позднее, была полностью подтверждена последующими исследованиями. Был доказан огромный размах современного гипергенного разрушения местонахождений ископаемых остатков, который как нельзя лучше дает нам представление об огромном числе местонахождений, сформировавшихся в прежние эпохи истории Земли и уничтоженных подобными процессами в течение последующих миллионов лет.

Видное место в комплексе рассмотренных Ч. Дарвиным проблем занимают и некоторые аспекты фоссилизации органических остатков, как одного из основных факторов, определяющих неполноту геологической летописи. В частности он подчеркнул зависимость сохранности отмерших организмов от характера захоронившего их осадка. По мнению Ч. Дарвина, крупнообломочные породы, при выходе из-под уровня вод на дневную поверхность, не смогут обеспечить хороших условий захоронения даже при значительной мощности. Кроме того, Ч. Дарвин отметил и исключительную роль постседиментационных преобразований вмещающих остатки пород, указав, что процессы метаморфизма привели к практически полному уничтожению окаменелостей в докембрийских толщах.

В настоящее время не вызывает сомнения, что комплексы ископаемых не являются адекватными фауне и флоре в прошлом. Интересные данные о масштабах такой неадекватности дают расчеты, которые показывают, что число известных в настоящее время окаменелостей составляет всего несколько сотых долей процента от числа всех видов, живших в фанерозе. В перечень групп, информация о которых полностью утрачена, могли попасть целые и, возможно, обширные таксоны одноклеточных и многоклеточных организмов, не имевших скелетов и, вероятно, существовавших очень длительно. Мягкие ткани, а именно они часто являются наиболее важными для познания анатомического строения и соответственно систематического статуса, в подавляющем большинстве случаев не сохраняются и у организмов, обладавших скелетом. Детальные исследования последних десятилетий показали, что исходные посмертные остатки организмов на всех этапах тафономического цикла подвергаются постоянному, длительному и часто ураганному по разрушительной силе воздействию всевозможных факторов – механических, биологических, биохимических, химических и многих других. Результатом этого является полное уничтожение большинства остатков, сопровождающееся изменением первичного химического и минерального составов скелетов, избирательным отбором не только целых остатков организмов, но и их частей, кардинальным искажением всех количественных и качественных соотношений в сохранившихся фрагментах палеосообществ.

Исключительный интерес составили теоретические разработки Ч. Дарвина, ответившие на вопрос, почему отсутствуют и не дают нам полной картины эволюции органического мира связующие звенья между родственными видами, число которых должно было быть поистине огромно. Как уже было отмечено, Ч. Дарвин хорошо понял отличие процессов захоронения в континентальных и морских условиях, указав, что открытие переходных форм было бы труднее на суше. Переходные формы в момент возникновения должны были представлять собой малочисленные и пространственно ограниченные локальные популяции, имеющие меньше шансов сохраниться и быть обнаруженными в ископаемом состоянии. Позднее было подтверждено, что концентрация животных остатков есть необходимая первая ступень создания всякого местонахождения, а исходной точкой для этого может служить только большая численность индивидов в той или иной местности и их высокая плотность.

В своей книге Ч. Дарвин неоднократно образно характеризует высшую степень неполноты геологической летописи: “Было бы слишком смело рассуждать с полным авторитетом о последовательности органических форм во всем свете; это было бы похоже на то, как если бы какой-либо натуралист высадился на пять минут на пустынном берегу Австралии и потом начал рассуждать о количестве и свойствах ее естественных произведений” [4, с. 329]. Из подобных слов может сложиться впечатление, что Ч. Дарвин очень пессимистически оценивал возможность преодоления недостатков геологической летописи. Однако это, конечно, не так. Он считал, что в вопросе преодоления неполноты в дальнейшем откроется громадное и почти необъятное поле исследований и будет сделано много новых интересных открытий. Подчеркивая, что пробелы летописи могут быть частично восполнены, Ч. Дарвин со всей определенностью пишет: “Положительным указаниям палеонтологии можно вполне доверять, тогда как отрицательные данные не имеют значение” [4, с. 327]. Ч. Дарвин убедительно показал, что в значительной степени изъяны геологической летописи связаны с очень слабой геологической изученностью Земли и, следовательно, в какой-то мере наблюдаемые пробелы в дальнейшем могут быть компенсированы путем более детальных исследований. Он пишет по этому поводу: “Лишь небольшая часть земной поверхности исследована геологически, и ни одна местность не исследована с достаточной полнотой, что доказывают важные открытия, которые каждый год делаются в Европе” [4, с. 316]. Касаясь вопроса о почти полном отсутствии в летописи остатков докембрийских организмов, Ч. Дарвин не исключал, что “континенты, сложенные из формаций более древних, чем все нам известные, сохранились теперь только в виде остатков в метаморфизованном состоянии или до сих пор погребены под океаном” [4, с. 354]. При этом он выражал большое сомнение в том, что эти древнейшие ископаемые “были

совершенно уничтожены процессом метаморфизации” [4, с. 331]. На многочисленных примерах Ч. Дарвин показал, что неполнота летописи постоянно сокращается за счет находок новых видов ископаемых, которые в свою очередь постоянно уточняют “наши сведения о первом появлении и исчезновении многих групп животных” [4, с. 328]. Взгляды Ч. Дарвина на перспективы сокращения неполноты геологической летописи впоследствии были блестяще подтверждены. В первую очередь это произошло за счет расширения соответствующих исследований с распространением их не только на территории всех материков, но и на акватории океанов. В связи с интенсивными геолого-съёмочными работами на континентах к настоящему времени практически не осталось “белых пятен”. Бурное развитие промышленности привело к тому, что в разных регионах при разработке угольных и других месторождений были обнаружены богатейшие местонахождения окаменелостей. В рамках широкомасштабных многоплановых геолого-геофизических исследований океанов, обеспечивших, в том числе рациональное распределение скважин, была составлена карта возраста ложа мирового океана, установлены характер распределения материала осадочного чехла, изменение его состава и мощности. Благодаря глубоководному бурению все океаны, а это три четверти поверхности земного шара, были вовлечены в поле зональной стратиграфии.

Пополнение сведений по разнообразию организмов древних эпох происходило главным образом из трех тесно взаимосвязанных источников. Это, во-первых, поступления из конкретных регионов, во-вторых, получение данных за счет целенаправленных сборов по конкретному временному отрезку и, в-третьих, интенсивные сборы по какой-либо группе организмов.

Огромное значение в преодолении пробелов геологической летописи имело быстрое совершенствование техники и методики исследований. Использование электронной микроскопии обеспечило небывалый прогресс в изучении микрофоссилий (в том числе докембрийских), а также в области морфологических, микроструктурных и таксономических исследований. Следует отметить, что достижения в области совершенствования методов распознавания и извлечения (включая и развитие техники палеонтологических раскопок) из горных пород массового палеонтологического материала в значительной мере ограничили число случаев нахождения “немых отложений”. Это позволило включить в сферу применения палеонтологического метода поздний докембрий.

#### **4.7. Эмпирическое обобщение о необратимости геологической и биологической эволюции.**

Необратимость в большей или меньшей степени присуща всем процессам, происходящим в природе и может рассматриваться как проявление одного из всеобщих диалектических законов развития – отрицания отрицания.

Положение о необратимости эволюции органического мира первым высказал в своей книге “Происхождение видов” Ч. Дарвин, который считал, что вид, раз исчезнувший, никогда не может появиться снова, даже если снова повторились бы совершенно тождественные условия его существования. Тем не менее, чаще установление данной закономерности связывают с именем Л. Долло, который в 1893 г. после анализа значительного фактического материала сделал следующий вывод: “организм не может вернуться даже частично к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков”.

Некоторые ученые считают, что в филогенезе возможна обратимость отдельных ранее исчезнувших структур (так называемые обратные мутации). Тем не менее, это совершенно не умаляет положение о необратимости органического мира, так как оно предусматривает необратимость не отдельных признаков, а видов, как исторических систем.

Ведущее значение палеонтологического метода в стратиграфии определяется именно тем, что он опирается на необратимость эволюции органического мира и прогрессивное развитие организмов от простых к сложным. Если бы необратимости эволюции органического мира не существовало, ни один другой метод не смог бы расшифровать историю Земли.

Необратимость свойственна и процессам в неорганическом мире – осадконакоплению, магматизму, тектогенезу, однако по своим конкретным проявлениям обнаруживается она значительно труднее, чем в живой природе и часто “маскируется” явлением периодичности. Именно из-за этого идея о необратимости геологической эволюции Земли утвердилась несколько позднее. Ярким примером необратимости в неорганическом мире является радиоактивный распад нестабильных изотопов, на котором основано создание шкалы геологического времени.

#### **5. Стратиграфические и геохронологические шкалы.**

Стратиграфическими единицами являются реальные геологические тела, определенные комплексы пород, каждый из которых обладает характерным вещественным составом и характерными свойствами. Любое стратиграфическое подразделение от самого

крупного до самого мелкого отвечает конкретному естественному этапу в развитии Земли в целом или какой-то ее части. Следовательно, изучая стратоны, мы можем восстанавливать эти этапы, определять их последовательность и относительную продолжительность.

Стратиграфия и относительная геохронология связаны друг с другом столь неразрывно, что стратиграфическую классификацию нельзя отрывать от классификации геохронологической. Они – две стороны одного и того же процесса исторического развития Земли, позволяющие иметь две самостоятельные шкалы - стратиграфическую и геохронологическую, которые в совокупности во всей его сложности отражают общий ход и результаты единого закономерного процесса формирования литосферы. Стратиграфическая шкала отражает последовательность отложений, а также выражает их объем и соподчиненность. Геохронологическая шкала отражает длительность и закономерную последовательность основных этапов исторического развития Земли. Каждому стратиграфическому подразделению соответствует геохронологическое.

Что же дает возможность разбить историю Земли на определенные естественные этапы? Эта возможность представляется благодаря поступательному развитию Земли, которое содержит в основе рассмотренную ранее необратимость явлений, имевших место в геологическом прошлом (при более или менее ясной их периодичности). Следует отметить, что каждый этап в развитии органического мира столь своеобразен и неповторим, что здесь о периодичности можно говорить очень относительно. Она будет выражаться в появлении, расцвете и вымирании отдельных групп, на смену которым придут другие, повторив тот же цикл в своем развитии. Смена различных историко-геологических этапов может быть принята за естественные рубежи, которым будут соответствовать границы выделяемых стратиграфических единиц.

С помощью стратиграфических шкал, представляющих собой принятую за эталон последовательность слоев и заключенных в них остатков ископаемых измеряется геологическое время. Шкала – это инструмент для установления хронологии геологических событий, образно говоря, часы, по которым сверяется время проявления событий, зафиксированных в изучаемом геологическом объекте. Стратиграфические шкалы могут быть разными по своей значимости и охвату. Они могут разрабатываться для крупных регионов или биогеографических областей и провинций. Однако все такие шкалы, в конечном счете, сводятся к единой общепланетарной или Международной шкале, точно так же, как, например, московское время, эталонное для нашей страны, и нью-йоркское время – эталонное для США, сводятся к гринвичскому времени – эталону для всей планеты. Международная шкала является главным инструментом для измерения геологического времени.

Современная Международная шкала создавалась более ста лет. Начало этому было положено европейскими геологами и палеонтологами, которые к концу XIX века, изучив разрезы Европы и характер распределения в них ископаемых, смогли восстановить в общих чертах хронологию главных событий геологического прошлого этого региона. На данной основе была разработана первая общая схема международной стратиграфической классификации. Она была рассмотрена на 2-й сессии Международного геологического конгресса в г. Болонья (Италия) в 1881 г. В нем предусматривалось выделение стратиграфических единиц пяти отличающихся рангов: группа, система, отдел, ярус, слой. Этим подразделениям, представляющим собой определенные толщи осадочных горных пород, стали отвечать адекватные им хронологические подразделения. Группе стала соответствовать эра, системе – период, отделу – эпоха, ярусу – век. Для хронологических подразделений пятого ранга, отвечающих слоям, определенного названия зафиксировано не было. В 1900 г. на 8-й сессии Международного геологического конгресса в г. Париже вместо “слоя” был утвержден термин “зона”, а соответствующий ему отрезок времени получил название “фаза”.

Стратиграфическая шкала, созданная к началу XX века на основе этой классификации, включала почти все современные системы и отделы фанерозоя, а также большинство ярусов. Общая структура ее в части фанерозоя не изменилась до настоящего времени, и современная шкала фанерозоя отличается от первоначальной в основном лишь детальностью. Что касается подразделений докембрия, то в первые шкалы они вошли в виде архея и протерозоя, которые классифицировались как группы, приравняемые к группам фанерозоя – палеозойской, мезозойской и кайнозойской. На подразделения более низкого порядка архей и протерозой не расчленялись.

Международная стратиграфическая шкала в том виде, в каком она была принята в 1900 г. на Парижской сессии Международного геологического конгресса с успехом использовалась до середины XX века без сколько-нибудь существенных попыток ее изменить или усовершенствовать. Интерес к шкале оживился в 50-е годы XX века в связи с началом работ по составлению геологических и тектонических карт мира. В 1952 г. на XIX сессии Международного геологического конгресса в Алжире была создана специальная подкомиссия по стратиграфической терминологии, в задачу которой входило дальнейшее усовершенствование и унификация стратиграфической классификации. С 1960 г. организацию международных геологических конгрессов и обсуждение стратиграфических проблем ведет Международный союз геологических наук. Его органами являются Международная комиссия по стратиграфии, 18 подкомиссий по отдельным системам, а также создаваемые для выработки тех или иных решений рабочие группы.

В 1955 г. в СССР был создан Межведомственный стратиграфический комитет (преобразованный в 1992 г. в МСК России), который стал решать общие методические и спорные вопросы стратиграфии, и обеспечил высокую эффективность исследований. Межведомственный стратиграфический комитет организован аналогично Международной комиссии по стратиграфии и официально в ней представлен.

Следует отметить, что в последние годы роль Международной комиссии по стратиграфии, как координатора стратиграфических исследований по детализации шкалы и уточнению границ и объема ее подразделений увеличилась. Активная работа входящих в нее 18 подкомиссий позволила, во-первых, существенно продвинуть решение многих научных и практических вопросов стратиграфии, а, во-вторых, что тоже очень важно, привлечь к этой работе специалистов практически всех стран (комиссия в последние годы насчитывает более 400 голосующих членов, в ее деятельности участвуют более 2000 стратиграфов из свыше 100 стран мира).

Активизация работы над шкалой была вызвана также совершенствованием изотопных методов определения возраста горных пород в единицах привычной для нас астрономической шкалы измерения времени. Это позволило определить длительность подразделений шкалы. При этом обнаружилась значительная диспропорция между “группами” докембрия (археем и протерозоем) и фанерозоя (палеозоем, мезозоем и кайнозоем). Если длительность последних исчислялась первыми сотнями миллионов лет, то длительность архея и протерозоя оказалась на порядок большей. Стало очевидным, что архей и протерозой являются подразделениями более высокого ранга по сравнению с группами фанерозоя. Для их обозначения в Международную шкалу был введен новый термин – “зонотема”. К зонотемам были отнесены архей, протерозой, а также фанерозой.

В связи с быстрым увеличением разнообразия методов изучения геологического прошлого Земли и их усовершенствованием, в последние десятилетия значительно расширились возможности детального расчленения и корреляции разрезов, а, следовательно, уточнения, детализации и унификации Международной стратиграфической шкалы. Сейчас во всех странах ведется большая работа в этом направлении, координируемая национальными и межнациональными стратиграфическими комитетами и комиссиями. При этом основное внимание уделяется вопросам согласования различных точек зрения на объем стратиграфических подразделений (практически ярусов) и проблемам их стандартизации. Поскольку объем каждого из них зависит от того, где проводятся его границы, большие усилия направлены на уточнение критериев проведения границ и поиски разрезов, в которых они наилучшим образом выражены (стратотипы границ или лимитотипы).

Международная комиссия по стратиграфии пришла к заключению, что большинство классических стратотипов единиц глобальной шкалы непригодны для определения границ. Поэтому следует искать новые разрезы, в которых седиментация непрерывна в пограничном интервале и выбранные уровни обладают наибольшим корреляционным потенциалом. Процедура выбора стратотипа подошвы подразделений Международной стратиграфической шкалы была утверждена Международным союзом геологических наук в 1996 г. Сложился порядок работы, согласно которому рабочая группа изучает корреляцию местных разрезов, различные способы проведения в них спорной границы, варианты наименований для подразделений Международной стратиграфической шкалы и, в конце концов, выбирает конкретный уровень границы в опорном разрезе. В настоящее время специальное внимание уделяется выбору “точек глобального стратотипа границ”. Они выбираются для обеспечения стабильности Международной стратиграфической шкалы, что обуславливается в первую очередь стабильностью границ ее подразделений. Эта трудоемкая работа по данным на 2009 г. была закончена для 60 границ внутри фанерозоя, включая десять границ между системами. Следует отметить, что Международной комиссией по стратиграфии принято положение о том, что ярусы признаются официальными только после выбора и утверждения лимитотипов, то есть точек глобального стратотипа границ. Если кандидат на точку глобального стратотипа границы лишь обсуждается в рабочей группе Международной комиссии по стратиграфии, то такие ярусы получают статус полуофициальных. Все остальные являются неофициальными подразделениями.

В последние десятилетия геологическая практика подошла к разработке стратиграфических шкал нового поколения с ориентацией на дальнейшую их детализацию.

Сейчас фактически нет ни одного отрезка фанерозойской шкалы, который бы не был обеспечен зонами. В палеозое насчитывается до 130, в мезозое – 145, в кайнозое – 45 зон, число которых увеличивается за счет использования дробных зон, выделяемых по “новым” палеонтологическим группам. С помощью зон геологическая практика получила инструмент для расчленения древних толщ фантастической детальности: средняя продолжительность зон в палеозое не более 2,6, в мезозое – 1 и в кайнозое – 1,45 млн. лет. Зоны прочно вошли в геологическую практику. Этому, в частности, способствовало глубоководное бурение, благодаря которому было показано, что зональные подразделения могут быть прослежены на громадной площади поверхности Земли (Тихий, Атлантический и Индийский океаны).

В последние десятилетия появились попытки создать не только зональные, но и инфразональные (микростратиграфические) шкалы на основе не только традиционных, но и новых методов. Они обеспечивают стратиграфическое расчленение дополнительными сменяющимися друг друга в разрезе маркерами, отражающими не только различные

биотические, но и абиотические, проявившиеся одновременно на всей планете или на большей ее части события (инверсии магнитного поля, эвстатические колебания уровня мирового океана, климатические изменения, падения на Землю крупных метеоритов и др.). Уже сейчас намечен целый блок инфразональных подразделений, продолжительность которых оценивается в 0,1-0,3 млн. лет, что несколько десятков лет назад представлялось невозможным.

В современной геологической литературе существуют две принципиально различные концепции построения шкал геологического времени – хронометрическая и хроностратиграфическая. Хронометрическая концепция предусматривает разбиение абстрактного физического времени на те или иные отрезки, определяемые в стандартных единицах (фактически в годах). Подразделения, выделяемые в рамках хронометрической концепции – это интервалы времени с фиксированными начальной и конечной границами, которые устанавливаются на основании изотопно-геохронометрических данных без определенного отношения к конкретным комплексам горных пород или их последовательности. Границы хронометрических подразделений принимаются по международным соглашениям. В крайнем своем выражении она предполагает построение шкалы геологического времени для докембрия и фанерозоя на основании произвольно выбранных отрезков равной продолжительности (100, 200, 500 млн. лет и т.п.). Таким образом хронометрическая концепция рассматривает стратиграфическую шкалу как в значительной степени условное построение, призванное служить лишь мерой геологического времени. При таком подходе подразделения шкалы и их границы – это результат интерполяции, а, следовательно, они субъективны и являются лишь выбранными по договоренности временными координатами, к которым затем привязываются реальные, объективно существующие стратона. Время, таким образом, как бы отрывается от событий, запечатленных в этих стратонах, и существует само по себе. Приведенный взгляд на стратиграфическую шкалу особенно характерен для американской геологической школы, к которой сейчас присоединились и многие европейские стратиграфы.

Наибольшее распространение хронометрическая концепция получила применительно к докембрию, для которого в последние годы Международная комиссия по стратиграфии приняла новую концепцию Международной шкалы. В этой части геологической летописи она успешно конкурирует с хроностратиграфической концепцией. В ее основу был положен нумерический принцип определения границ общих подразделений с помощью “глобального стандарта стратиграфического возраста”. Популярность докембрийских хронометрических шкал объясняется с одной стороны объективными особенностями архейской и протерозойской биоты, не способной обеспечить расчленение, хотя бы отдаленно сравнимое

по детальности с достигнутым в фанерозое, а с другой стороны произошедшим в последнее время резким повышением точности изотопной геохронологии докембрия.

Явное отсутствие у хронометрических подразделений какого-либо геоисторического содержания определило более широкое использование хроностратиграфической концепции к построению шкал геологического времени – соотнесению принимаемых в них границ с теми или иными геологическими событиями. Она предусматривает построение общих шкал на основании анализа естественных последовательностей реальных носителей геологического времени – стратифицированных горных пород и содержащихся в них органических остатков, установления стратотипов выделенных подразделений и закрепления их границ в специально выбранных стратотипических разрезах, в которых эти границы определяются конкретными событиями и фиксируются в избранной точке. Именно хроностратиграфический принцип построения шкал открывает возможность получения комплексной (палеонтологической, изотопно-геохронологической, магнитостратиграфической и др.) характеристики выделенных подразделений.

Следует отметить, что большинство российских ученых опираются именно на историко-геологический принцип расчленения толщ горных пород и придерживаются взгляда об объективности подразделений стратиграфической шкалы, которые рассматриваются как овеществленные этапы геологической истории Земли, включая историю органического мира. “Глобальный стандарт стратиграфического возраста” для докембрия в России не применяется. В нашей стране используется Общая стратиграфическая шкала докембрия, основанная на изучении типовых разрезов Карелии, Восточно-Европейской платформы, Урала и Восточной Сибири. Границы стратотипов этой шкалы из-за серьезных ограничений на использование биостратиграфического метода определяются не палеобиологическими событиями, как в классической хроностратиграфической концепции, разработанной на фанерозойском материале, а событиями геологическими – началом процессов вулканизма и седиментации, которые знаменовали собой начало новых этапов геологического развития стратитипических районов соответствующих подразделений. Иначе говоря, эти границы привязываются к несогласиям в основании типовых комплексов выделенных подразделений. Как показал опыт ее использования, она является действенным инструментом расчленения докембрия нашей страны на систему соподчиненных общих единиц и обеспечивает потребности Государственного геологического картирования и тематических исследований. Подразделения этой шкалы с разной степенью детальности сопоставлены с подразделениями докембрия других стран и континентов.

Несмотря на то, что существующая Международная стратиграфическая шкала еще далека от совершенства, она довольно успешно выполняет свои функции, особенно в той

части, где опирается на биостратиграфию. Она служит международным эталоном геологического времени, материализованного в ее подразделениях. Статус “Международная” отнюдь не означает, что только этой шкалой надлежит пользоваться, определяя возраст отложений тех или иных конкретных районов. Практически, это не всегда возможно или удобно. В таких случаях, как уже было указано, создаются региональные и местные стратиграфические шкалы, выполняющие функции “часов”, по которым измеряется время в пределах региона или района. Однако сверяться эти “региональные и местные часы” должны по Международной шкале.

## **6. Стратиграфические перерывы.**

Стратиграфические перерывы разнообразны. Среди них в первую очередь выделяются синседиментационные перерывы, которые образуются во время осадконакопления. Синседиментационные перерывы подразделяются на ряд типов. Эрозионные синседиментационные перерывы формируются вследствие высокой скорости водного потока, превышающего силу сцепления осадка. При образовании перерывов такого типа происходит смыв рыхлого осадка. Диастемы формируются при приостановлении осадконакопления или незначительном смыве рыхлого осадка. Диастемы, как уже отмечалось ранее, обычно не различимы в разрезах и сложно доказуемы. Одной из разновидностей диастем, по-видимому, являются поверхности напластования в слоистых толщах. Если осадкообразование не происходит длительное время без видимой смены литологии пород, то говорят о перерывах ненакопления. К числу видимых перерывов следует относить перерывы типа твердого дна. Под “твердым дном” понимаются твердые, каменистые поверхности, возникающие на дне морского бассейна с преимущественно карбонатным седиментогенезом при остановке или замедлении осадконакопления. В таких условиях мягкие карбонатные осадки цементируются на глубину (иногда в несколько десятков сантиметров), и поверхность дна литифицируется. В условиях терригенной седиментации твердое дно также формируется в результате откапывания эрозией конкреционных горизонтов. Перерывы типа мягкого дна появляются при замедлении осадконакопления в бассейнах с терригенной седиментацией (когда карбоната в осадке слишком мало или он вообще отсутствует). Перерывы данного типа устанавливаются по ходам и норам бентосных организмов, имеющих выполнение, отличное от вмещающей породы. Перерывы типа “глинистых прослоев” формируются при растворении карбонатного осадка, связанного с резким повышением содержания  $\text{CO}_2$  в воде, понижением температуры воды или при погружении осадка ниже критической глубины накопления карбонатов. При

этом происходит полное растворение карбоната, и в осадке остается только нерастворимый пелитовый материал.

Диagenетические перерывы формируются на стадии диагенеза и связаны с преобразованием пород. Наиболее частыми случаями для карбонатных пород являются стилолиты, образующиеся при перераспределении и выносе карбоната в результате воздействия литостатического давления и/или стресса.

К категории постдиагенетических перерывов можно отнести эрозионные перерывы, образующиеся при эрозии (абразии) пород, элювиальные перерывы – результат субаквального или субаэрального выветривания пород, а также стилолиты, возникшие после диагенеза.

Стратиграфические перерывы обладают многочисленными признаками, позволяющими опознать их в разрезах. Распознавание крупных перерывов, сопровождающихся несогласиями разного типа (в том числе и угловыми несогласиями), не представляет больших затруднений. Значительно сложнее выявить перерывы в визуально непрерывных разрезах литологически монотонных карбонатных или терригенных толщ. Для их установления используются различные признаки.

Среди морфологических признаков устанавливаются две основные группы: структурно-текстурные и минералогические. Среди структурно-текстурных признаков наиболее важными являются следующие:

- 1) Резкие границы между слоями. Конфигурация поверхности раздела слоев может меняться от идеально ровной, горизонтальной, до неровной, волнистой, с “карманами” размыва, срезающими нижележащие отложения на разную глубину. Часто резкие границы сопровождаются интенсивным ожелезнением, которое может проявляться как в подошве перекрывающих, так и в кровле подстилающих отложений. Такие границы легко распознаются в разрезах благодаря своей бурой и красноватой окраске, в особенности в карбонатных разрезах.
- 2) Резкая или быстрая (миллиметры, первые сантиметры) смена зернистости пород.
- 3) Базальные горизонты в подошве слоев и целых толщ. Базальные горизонты являются частным, но наиболее важным случаем изменения гранулометрии пород. В основании некоторых слоев встречаются конгломераты, отдельные гальки и гравий, указывающие на наличие эрозионных перерывов.

- 4) Ходы и норы донных организмов, приуроченные к границе слоев и имеющие резко отличное от вмещающих пород выполнение.
- 5) Интенсивная биотурбация, полностью уничтожающая первичную текстуру осадка, свидетельствует о снижении темпов седиментации, вплоть до полной остановки и формирования перерыва.

Среди минеральных скоплений, образующихся во время остановок осадконакопления, существует несколько минералов – индикаторов перерывов: это присутствие глауконита и фосфоритов. В связи с чрезвычайно медленным образованием глауконита, интервалы разреза, обогащенные им, свидетельствуют о значительной конденсации. Фосфориты являются постоянным “спутником” глауконита и также свидетельствуют о медленном осадконакоплении или перерыве седиментации. Для пелагических и гемипелагических обстановок одним из индикаторов перерывов является образование железомарганцевых пленок, корок, оолитов и микроконкреций, сопровождаемое появлением характерной красноватой окраски пород. Это явление связано с взаимодействием морской воды, имеющей окислительную реакцию, и осадочной толщи, вскрытой во время перерыва. Надо заметить, что минералогические признаки не являются универсальными, и использовать их надо с определенной осторожностью.

Выявить перерывы, помогают и некоторые тафономические признаки. К ним можно отнести:

- 1) Редкость находок, малочисленность отдельных форм, представленных дезинтегрированными остатками. И наоборот, многочисленность остатков фауны в конденсированных разрезах.
- 2) Разный характер сохранности остатков.
- 3) Наличие во вмещающей толще (цементе) вокруг глыбовых включений ореола из остатков, которые встречаются в самих глыбах и обломках.
- 4) Смешанный характер тафоценозов, с участием как авто-, так и аллохтонных форм.
- 5) Несоответствие залегания фоссилий признакам первичного захоронения.

Полезными могут оказаться и литологические методы выявления перерывов. В частности в ходе циклитового анализа удастся установить как сами перерывы, так и получить данные об их распространении по площади и определенные сведения о продолжительности hiatusов, основанные на литологических данных. При этом становится очень важным изучение кор выветривания, то есть не только поверхности перерыва, но и

геологического тела, сформированного за этот период, так как мощность кор и генетические типы элювия и их последовательное наложение друг на друга есть четкая мера времени воздействия агентов выветривания. Одним из признаков размыва является внезапное нарушение выявленной цикличности - усеченный циклит. Следует, однако, отличать ложные перерывы, которые могут быть вызваны, например, пеплопадами и отложениями турбидитов. При этом отсутствие перехода нижнего слоя в верхний создается не прерыванием постоянной, фоновой седиментации, а лавинным, мгновенным осаждением сравнительно больших порций осадка. Контакт выглядит как перерыв, а на деле имеет место сверхинтенсивная (лавинная) седиментация.

По длительности выделяют крупные, средние и мелкие перерывы. Первые две категории отражают изменения режима осадконакопления, эвстатические колебания уровня океана и устанавливаются различными стратиграфическими, в том числе и изотопно-геохронометрическими методами. Мелкие, скрытые перерывы (диастемы) обусловлены лишь изменением отдельных параметров режима седиментации. Они опознаются с большим трудом, главным образом литостратиграфическим и реже изотопными методами. Крупные перерывы характеризуются отсутствием в разрезах отложений систем или отделов (примерная длительность более 10 млн. лет), а их пространственное распространение охватывает значительную часть территории планеты или несколько геологических регионов. Перерывы этого типа обычно сопровождаются резкой сменой литологических и палеонтологических характеристик от подстилающих пород к перекрывающим. Для складчатых областей характерны угловые несогласия и изменения структурного плана территорий. Средние перерывы характеризуются выпадением отделов, ярусов, зон или горизонтов и свит (примерная длительность 1-10 млн. лет). Они обычно сопровождаются отчетливой сменой состава пород и остатков организмов. Распространение этих перерывов прослеживается в пределах целых геологических регионов, хотя угловые несогласия проявляются лишь в складчатых областях и часто не повсеместно, а только в отдельных тектонических структурах. Широко распространены параллельные несогласия и изменения структурного плана территорий. Мелкие перерывы до 1 млн. лет сопровождаются выпадением слоев или пачек пород. Биостратиграфическими методами диастемы, как правило, не устанавливаются. Угловые несогласия и резкие изменения состава пород не характерны. К седиментологическим признакам диастем относятся следы подводных размывов, пиритизация или обохренность контактирующих пород, обогащение надконтактных слоев несортированным материалом тяжелой фракции.

Соответствующие перерывам выпадающие из стратиграфической последовательности интервалы получили название гиатусов (что в переводе с латинского означает "трещина",

“ущелье”). Определение их стратиграфического объема обеспечивает корреляция биостратиграфических последовательностей, основанных на группах быстро эволюционировавших организмов массового распространения (фораминиферы, наннофосилии, конодонты и т.п.). Чем детальнее биостратиграфическая шкала, тем меньшие по величине hiatusы можно с ее помощью установить. Использование таких шкал позволило выделить большое количество hiatusов в разрезах, считавшихся ранее непрерывными. Для более эффективного использования биостратиграфического метода в последнее время большое внимание уделяется так называемым стандартным биостратиграфическим шкалам. Под зональным биостратиграфическим стандартом понимается искусственная, максимально полная последовательность зон, утвержденная в качестве эталонной. Сравнивая полноту конкретных разрезов со стандартом, существенно легче выявить hiatusы с небольшой амплитудой. Надо отметить, что отсутствие каких-то зональных видов не всегда говорит о перерывах. Это может быть связано с изменением экологических условий. Известно, например, что на огромном пространстве Русской плиты в барреме не встречаются аммониты, но это не означает, что на этот интервал приходится перерыв. Их отсутствие в данном случае объясняется сильным опреснением бассейна, не совместимым с условиями обитания этой стеногалинной группы. В подобных случаях надо использовать параллельные стандартные шкалы, построенные по данным изучения других групп.

## **7. Стратиграфический кодекс России.**

Интернационализация стратиграфических исследований, необходимость составления геологических карт, охватывающих целые континенты или всю поверхность земного шара, требуют взаимопонимания между стратиграфами разных стран и координации проводимых ими исследований. Этого невозможно добиться без унификации определений и терминов, без создания общего языка в стратиграфии, который мог бы служить ученым всего мира. В этом направлении сейчас ведутся большие работы, координируемые Международной подкомиссией по стратиграфической классификации. Однако разногласия в подходе ко многим принципиальным положениям в стратиграфии, препятствуют достижению соглашения. Поэтому во многих странах создаются национальные стратиграфические кодексы. Сейчас они имеются в более чем 26 странах.

Стратиграфический кодекс России относится к числу важнейших геологических документов, организующих стратиграфическую службу страны, способствующих повышению качества геологической съемки и других геологических работ. Кодекс содержит

требования, проверенные практикой с учетом традиций отечественной геологической службы, мирового опыта и новых перспективных направлений в стратиграфии.

Стратиграфический кодекс это свод основных правил, определяющих содержание и применение терминов и наименований, используемых в практике стратиграфических исследований, и процедуру установления стратиграфических подразделений. Основным назначением Стратиграфического кодекса является обеспечение единообразия и стабильности в понимании и применении стратиграфических терминов и наименований. Кодекс также регламентирует процедуру установления стратиграфических подразделений и формулирует единые требования к их характеристике. Правила Стратиграфического кодекса применяются ко всем стратиграфическим подразделениям, выделенным на территории России, и являются обязательными при проведении геологических работ.

Следует также отметить, что кодекс отражает и определенное стратиграфическое мировоззрение. Это выражается, прежде всего, в принимаемой классификации стратиграфических подразделений.

Основы отечественного стратиграфического кодекса были заложены в 1954 г., когда была опубликована брошюра “Стратиграфические и геохронологические подразделения. Их принципы, содержание, терминология и правила применения”.

Первый Стратиграфический кодекс СССР был утвержден Межведомственным стратиграфическим комитетом в 1976 г. в качестве временного свода правил и рекомендаций. В 1977 г. он был опубликован, и выполнение его требований стало обязательным при проведении различного вида геологических работ на всей территории страны. Для ознакомления с Кодексом зарубежных специалистов он был издан в 1979 г. на английском языке. В 1988 г. был создан проект второго издания Стратиграфического кодекса, который был опубликован в 1992 г. В 2000 г. были напечатаны Дополнения к Стратиграфическому кодексу России, а в 2006 г. – третье, улучшенное его издание.

Отечественный и мировой опыт свидетельствует, что такой документ, как Стратиграфический кодекс, может отвечать своему назначению лишь ограниченный отрезок времени, после чего нуждается в совершенствовании.

## **8. Классификация стратиграфических подразделений.**

Стратиграфическим кодексом России предусмотрены две группы стратиграфических подразделений – основные и специальные. Эти группы подразделяются на категории, для каждой из которых установлены определенные таксономические единицы, обозначаемые ранговыми терминами. Основные стратиграфические подразделения являются

подразделениями комплексного обоснования. Они имеют геосистемную природу, поскольку отражают определенный этап в развитии геосферы в целом или ее участка с учетом эволюции био-, гидро- и атмосферы. Для их выделения используется возможно большее число различных признаков, что должно обеспечивать их прослеживание на больших территориях, вплоть до всей планеты. На всем своем протяжении эти подразделения должны в принципе иметь изохронные границы. Основные стратиграфические подразделения являются главными картируемыми элементами геологических карт разных масштабов.

Среди основных стратиграфических подразделений предусмотрены общие, региональные и местные стратоны. При такой классификации основных стратиграфических подразделений учитывается географический критерий, прямо вытекающий из фундаментального принципа стратиграфии – принципа хронологической взаимозаменяемости признаков. Взаимоотношение категорий местных, региональных и общих стратонов рассматривается как отношение частного к общему. Переход от местных и региональных подразделений к единицам общей шкалы является процессом абстрагирования, как и всякое движение от частного к общему.

Специальные стратиграфические подразделения являются единицами частного обоснования и устанавливаются с помощью отдельных методов.

В зависимости от признаков, по которым стратоны были установлены, среди специальных стратиграфических подразделений установлены: морфолитостратиграфические, биостратиграфические, климатостратиграфические, магнитостратиграфические и сейсмостратиграфические. Вместе с этими, указанными в кодексе подразделениями, к специальным единицам можно отнести циклостратиграфические, экостратиграфические и некоторые другие.

Дополнительные подразделения могут быть выделены в шкалах любых групп и категорий: они обозначаются ранговыми терминами подразделений с приставками над- и под-.

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

Общие стратиграфические подразделения – совокупности горных пород (геологические тела), занимающие определенное положение в полном геологическом разрезе земной коры и образовавшиеся в течение интервала геологического времени, зафиксированного в стратотипическом разрезе и (или) с помощью лимитотипов. Общие

стратиграфические подразделения имеют потенциально планетарное распространение. Совокупность общих подразделений в их полных объемах составляет Общую (Международную) стратиграфическую шкалу. Ее специфика заключается в том, что она отражает непрерывность стратиграфической последовательности, из-за чего и принята за хроностратиграфический эталон. Общим стратиграфическим единицам соответствуют таксономические единицы геохронологической шкалы.

В зависимости от положения общего стратиграфического подразделения в геологическом разрезе земной коры и его ранга определяется ведущая роль того или иного метода. При установлении общих стратиграфических подразделений докембрия используются проявления крупной этапности развития земной коры в избранных стратотипических местностях, а также смена комплексов остатков организмов и продуктов их жизнедеятельности. Границы подразделений определяются проявлениями различных геологических событий в стратотипических местностях (крупные тектонические движения и процессы метаморфизма, усиление интрузивной деятельности, резкая смена формаций и т.п.). Изотопные методы широко используются для датирования докембрийских подразделений и их границ и играют важную роль в межрегиональном прослеживании подразделений.

Для фанерозоя ведущим методом установления общих подразделений является биостратиграфический метод; их границы определяются, как правило, биотическими событиями и по возможности должны датироваться изотопными методами.

При установлении общих стратиграфических подразделений четвертичной системы наряду с биостратиграфическим методом ведущее значение приобретают климатостратиграфический; в ряде случаев используются изотопный и магнитостратиграфический методы.

Таксономическая шкала общих стратиграфических подразделений состоит из ряда соподчиненных единиц.

К общим стратонам относятся: акротема, энотема, эратема, система, отдел, ярус, хронозона, раздел, звено и ступень. Последние три стратона используются для отложений четвертичной системы. Возможно их применение также для неогеновых отложений.

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

Нижняя стратиграфическая граница общего подразделения определяется по положению его подошвы в стратотипическом разрезе или в выбранном стратотипе границы

(лимитотипе) в другом разрезе. Верхняя граница определяется уровнем нижней границы вышележащего общего стратиграфического подразделения.

Общие стратиграфические подразделения фанерозоя, выше яруса по рангу, как правило, не имеют самостоятельных стратотипов, их стратиграфические объемы определяются совокупностью объемов более низких по рангу подразделений. В докембрийских образованиях стратотипы выбираются и для высших по рангу общих подразделений.

Названия акро-, эоно- и эратем отражают их относительную древность или соответствие важнейшим этапам геологического развития Земли и жизни на ней. Фундаментальное деление шкалы на фанерозой (от греческих слов *phanerós* – видимый, явный и *zōē* – жизнь) и криптозой (от греческого слова *kryptós* – скрытый) было ранее основано на наличии или отсутствии в соответствующих осадочных породах ископаемых остатков организмов. Следует отметить, что после открытия разнообразных явных органических остатков в докембрии термин “фанерозой” утратил свой буквальный смысл и стал обозначать отложения, содержащие не просто остатки явной фауны, а остатки скелетной фауны. Свой первоначальный смысл, естественно, утратил и термин “криптозой”. Названия системы образуются от географического или этнического названия района наиболее широкого ее распространения или нахождения ее стратотипического разреза. Понятие “отдел” было введено в стратиграфию в 1839 г. Л. фон Бухом при описании юрских отложений. Отделы получают названия по их относительному положению в системе: нижний, средний (при трехчленном делении) и верхний.

Ярус – основная таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненная отделу. Их впервые на палеонтологической основе выделил в 1842 г. А. Орбиньи для сопоставления разнофациальных морских отложений юры и мела Англии и Франции. Ярусы устанавливаются по биостратиграфическим данным, отражающим эволюционные изменения и (или) этапность развития органического мира, и представляют собой совокупность хронозон, объединяемых по какому-либо определенному признаку. Палеонтологическая характеристика яруса составляется из широко распространенных видов (и родов), содержащихся как в стратотипе яруса, так и в других одновозрастных отложениях. Названия ярусов производятся от современных или древних названий географических объектов (областей, районов, рек, гор, населенных пунктов), на территории или вблизи которых находятся стратотипические разрезы соответствующих ярусов. Ярус должен иметь стратотип и лимитотип – утвержденную точку глобального стратотипа границы.

Появление хронозон было основано на необходимости иметь в основании системы стратиграфической иерархии, каждое подразделение которой является синтетическим и

состоит из ряда стратонов более низкого ранга, элементарную единицу. В этом смысле хронозона представляет собой своеобразный “атом” стратиграфии и является единственным инструментом для определения полноты разрезов. Как уже было отмечено, понятие хронозоны установил в 1856-1858 гг. А. Оппель. Хронозона – таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненная ярусу. Она устанавливается по биостратиграфическим данным и отражает определенную стадию развития одной или нескольких групп фауны или флоры. Границы хронозоны определяются по нижнему и (или) верхнему пределу стратиграфического распространения зонального палеонтологического комплекса, в состав которого обычно входит группа видов, быстро эволюционирующих и имеющих широкое географическое распространение. Хронозона имеет совершенно четкий объем и границы и в этом смысле является наиболее реальным стратиграфическим подразделением. Общая палеонтологическая характеристика хронозон определяется не только зональным комплексом стратотипа, но и теми остатками организмов, которые встречаются в других областях. Этим, по существу, определяется хроностратиграфическая сущность хронозоны, поскольку к ней относятся не только отложения, содержащие зональный вид-индекс или зональный комплекс, но и все те отложения, которые образовались за время существования этого комплекса.

Свое название хронозона получает по названию зонального вида-индекса или нескольких видов-индексов. Хронозона должна иметь стратотип.

Раздел – таксономическая единица, используемая в качестве подразделения, подчиненного отделу четвертичной системы. Раздел имеет биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики. Он соответствует относительно длительному этапу развития климата и охватывает несколько крупных климатических ритмов. Стратиграфический объем раздела определяется совокупностью стратотипов звеньев или ступеней.

Звено – таксономическая единица, подчиненная разделу и используемая для отложений четвертичной (возможно, неогеновой) системы. Звено имеет биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики; объединяет комплексы пород, сформировавшиеся за время нескольких климатических ритмов похолодания и потепления (ледниковье, межледниковье) или увлажнения и иссушения (плювиал, арид). При отсутствии собственного стратотипа объем звена определяется совокупностью стратотипов ступеней, входящих в его состав.

Ступень – таксономическая единица, подчиненная звену и используемая для отложений четвертичной (возможно, неогеновой) системы. Выделяется на основании преимущественно климатостратиграфических критериев; объединяет комплексы пород,

сформировавшиеся во время глобального (субглобального) похолодания или потепления климата. В средних широтах отвечает отдельному ледниковью или межледниковью, в тропическом поясе – крупному пльвиалу или ариду, то есть климатолиту. В качестве стратотипа ступени принимается стратотип одного из наиболее характерных климатолитов.

Общая стратиграфическая шкала, утвержденная Межведомственным стратиграфическим комитетом России, обязательна для использования в Российской Федерации. Она может отличаться в отдельных своих интервалах от Международной стратиграфической шкалы, принятой Международной комиссией по стратиграфии.

Региональные стратиграфические подразделения – это совокупности горных пород, сформировавшиеся в определенные этапы геологической истории крупного участка земной коры, отражающие особенности осадконакопления и последовательность смены комплексов фаун и флор, населявших данный участок. Региональные подразделения интегрируют местные стратотипы или их части, служат для корреляции местных стратиграфических схем, способствуют их сопоставлению с Общей стратиграфической шкалой. Географическое распространение регионального подразделения ограничивается рамками геологического региона, субрегиона, палеобассейна седиментации или палеобиогеографической областью (провинций).

Стратиграфическим границам региональных подразделений могут отвечать показатели изменения режима и структурных перестроек в геологическом регионе, перерывы в осадконакоплении, существенные изменения биоты или климата.

Таксономическими единицами региональных стратиграфических подразделений являются горизонт и слои с географическим названием; дополнительные единицы – надгоризонт и подгоризонт, вспомогательная – маркирующий горизонт.

Горизонт – основная таксономическая единица региональных стратиграфических подразделений, включающая разновозрастные свиты, серии или части (по разрезу) тех или других, а также биостратиграфические подразделения, как правило, провинциального распространения. Объединяет по латерали фациально-различные отложения, образовавшиеся в разных районах (фациальных зонах) палеобассейна седиментации. Используется для сопоставления региональных стратиграфических схем с Общей стратиграфической шкалой.

Понятие горизонта как стратиграфического подразделения, объединяющего по простиранию разнофациальные толщи, отвечающие определенному этапу геологического развития региона (включая развитие органического мира и осадконакопление) первым ввел в 1918 г. Н.И. Андрусов.

Горизонт, являясь подразделением комплексного обоснования, на практике может иметь различные ведущие признаки. Горизонты в докембрийских образованиях, а также в

преимущественно “немых” вулканогенных и других толщах устанавливаются на основе литолого-фациальных или петрографических особенностей пород при учете изотопных и палеонтологических данных.

Горизонты фанерозоя выделяются на основе литолого-фациальных особенностей отложений с учетом их палеонтологических характеристик. Горизонты, установленные на биостратиграфической основе, латерально охватывают чаще всего палеобиогеографическую область (провинцию). Такие горизонты могут быть названы региоюрсами.

Горизонты четвертичной системы могут выделяться на климатостратиграфической основе. Горизонт должен иметь стратотип.

Слои с географическим названием – таксономическая единица, выделяемая по особенностям литологического состава и (или) на биостратиграфической основе. Они могут не заполнять весь стратиграфический объем горизонта. Стратотип слоев может выбираться в стратотипическом разрезе горизонта или быть самостоятельным.

Местные стратиграфические подразделения – это совокупности горных пород, выделяемые в местном разрезе на основании комплекса признаков при преимущественном учете фациально-литологических или петрографических особенностей, ясно отграниченные от смежных подразделений, как по разрезу, так и на площади, опознаваемые на местности (также в скважинах) и картируемые. Именно местные стратотипы и составленная ими местная стратиграфическая схема отражают специфику геологического развития данного участка земной коры и его отличие от смежных участков. Разнообразие и возможные сочетания местных условий бесконечны, отсюда следует и бесконечное разнообразие конкретных геологических разрезов, по которым восстанавливаются определенные этапы развития в данном районе со всеми их местными особенностями.

Местные стратиграфические подразделения имеют комплексную характеристику. В нее, кроме особенностей вещественного состава, входят палеонтологическая характеристика (при наличии остатков организмов), структура слоистого тела (перерывы, ритмичность), определения изотопного возраста, характер границ, географическое распространение и др. Комплексность характеристики местных стратотипов широко используется при непосредственном прослеживании соответствующих отложений и тем более при корреляции между разобщенными участками.

Палеонтологическая характеристика местных подразделений является одним из признаков при установлении подразделения; она обеспечивает определение геологического возраста, сопоставление с другими местными подразделениями и выявление перерывов в отложениях. Географическое распространение местных подразделений может быть различным – от части структурно-фациальной зоны до части геологического региона.

Стратиграфические границы местных подразделений приурочены к изменениям вещественного состава пород по разрезу, к стратиграфическим перерывам и угловым несогласиям, смене ассоциаций остатков организмов, а также к существенным изменениям различных геофизических параметров, если сведения о таковых имеются (Рис. 1).



**Рис. 1. Согласно залегание между неслоистыми глинами бахчисарайской свиты (эоцен) и грубослоистыми нуммулитовыми известняками симферопольской свиты (эоцен) (Юго-Западный Крым).**

Ранг местных стратиграфических подразделений определяется эмпирически в зависимости от относительного значения их в последовательности отложений данного района.

Таксономическая шкала местных стратиграфических подразделений состоит из следующих единиц: комплекс, серия, свита и пачка. В качестве вспомогательных местных подразделений используются толща, слой (пласт) и его модификации – маркирующий горизонт, линза и др.

Комплекс – наиболее крупная таксономическая единица местных стратиграфических подразделений, объединяющая две или более серии. Обычно это весьма мощная и сложная по составу и структуре совокупность геологических образований, отвечающая крупному

этапу в геологическом развитии территории. Комплекс чаще используется в стратиграфии докембрийских образований, где выделяется с учетом данных изотопного возраста, степени метаморфизма слагающих пород и нередко отделяется от смежных по разрезу комплексов структурным или значительным стратиграфическим несогласием, а иногда и проявлением интрузивного магматизма.

Комплекс может не иметь собственного стратотипа; в этом случае он характеризуется суммой стратотипов составляющих его серий или свит (толщ).

Серия объединяет две или более свиты, образующие крупный цикл осадконакопления и (или) охарактеризованные какими-либо общими признаками: сходными условиями формирования (континентальные, морские, вулканические), преобладанием определенных пород (осадочные, вулканогенные, метаморфические) или их направленной сменой, особой структурой (ритмичность) и др.

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

Свита – основная таксономическая единица местных стратиграфических подразделений, основная картируемая единица при средне- и крупномасштабной геологической съемке 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 (морское, континентальное, вулканогенно-осадочное осадконакопление), комплексом остатков организмов, характером метаморфизма, изотопным возрастом (при наличии таких данных), а в ряде случаев геохимическими и петрофизическими характеристиками, каротажными данными, показателями климатической обстановки (Рис. 2).

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

Свита может целиком состоять из однородных пород или при преобладании одних пород включать пачки, прослои и линзы других. Она может состоять из закономерно чередующихся типов пород или характеризоваться разнообразием состава. В ритмически построенных толщах в качестве свиты может быть выбран крупный седиментационный цикл.

Стратиграфический объем свиты должен оцениваться по наиболее полному ее разрезу, то есть отвечать всему временному интервалу формирования пород, включаемых в

состав свиты. Местами свита может характеризоваться возрастным скольжением границ и быть представлена не полностью. Свита должна иметь стратотип.



**Рис. 2.** Различная геоморфологическая выраженность местных стратиграфических подразделений. Нижняя пологая часть склона образована глинистыми известняками нижебешкошской подсвиты (кампанский ярус), средняя более крутая часть склона с плохо выраженными обрывами вверху – алевритистыми известняками и песчаниками верхнебешкошской подсвиты (маастрихтский ярус). Обрывистые уступы образованы известняками салачикской свиты (датский ярус) (Юго-Западный Крым).

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 являются картируемыми единицами при крупно- и среднемасштабной геологической съемке. Подсвиты в совокупности должны слагать полный стратиграфический объем свиты.

Пачка – относительно небольшая по мощности совокупность слоев, характеризующихся некоторой общностью признаков или одним определенным признаком, которые отличают ее от смежных по разрезу пачек в составе свиты (подсвиты) или толщи. Пачки обычно имеют ограниченное латеральное распространение, поэтому в разных районах развития свиты (подсвиты) может быть выделено различное количество пачек.

Толща – вспомогательное местное стратиграфическое подразделение, недостаточность обоснованности выделения которого не позволяет считать его серией, свитой или подсвитой, поскольку неясны соотношения с ниже- и (или) вышележащими отложениями, а также достоверно не определен район распространения. Стратотип для толщи не устанавливается, однако необходимо указание наиболее представительного ее разреза.

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

Маркирующий горизонт – широко распространенные и фиксируемые на определенном стратиграфическом уровне относительно маломощные отложения (пачка, слой), выделяемые, как правило, в полевых условиях на основании особенностей слагающих их пород, наличия 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 использоваться в региональном масштабе, а некоторые – даже в межрегиональном.

Маркирующие горизонты могут отражать геологически мгновенные события, если последние выражены в особенностях вещественного состава пород (например, выпадение вулканических пеплов). Примерами маркирующих горизонтов могут служить маломощные бентонитовые прослои, развивающиеся по вулканическим туфам, черносланцевые слои, отражающие бескислородные события прошлого, темпеститы (штормовые слои), ракушняки, ископаемые почвы.

Ярким примером маркирующих горизонтов являются иридиевые слои с химическими элементами платиновой группы. Первоначально они были обнаружены в 1979 г. учеными из Калифорнийского университета, которые встретили глины с иридием на границе меловых и палеогеновых отложений в ряде районов Италии и Дании. Позднее такие же аномалии были найдены на границе перми и триаса, эоцена и олигоцена и на других стратиграфических уровнях.

## **9. Методы стратиграфии.**

Как уже было ранее отмечено, любое стратиграфическое исследование сводится, по существу, к двум операциям – расчленению разрезов и их корреляции. Расчленяя разрез на стратоны, мы, опираясь на принцип Стенона, одновременно устанавливаем и

хронологическую последовательность. Корреляция выделенных стратонов с подразделениями стратиграфических шкал позволяет судить об их возрасте, то есть о времени образования, выраженном в подразделениях этих шкал. В зависимости от объекта исследования и стоящих перед учеными задач применяются самые разнообразные методы расчленения и корреляции.

В настоящее время можно насчитать порядка 17 методов расчленения и корреляции горных пород. При использовании этих методов надо иметь в виду следующие обстоятельства. Часть из них применяется при стратиграфических исследованиях в субглобальном масштабе (биостратиграфический, магнитостратиграфический, изотопный). Другая часть используется в основном в региональном масштабе (литостратиграфический, каротажный).

На разных стадиях стратиграфического исследования используются, прежде всего, успешно “работающие” в тех или иных условиях методы (сначала это обычно один-два метода, затем их несколько).

Наиболее объективные результаты получаются при комплексном применении разных методов, что позволяет, уточнять и объективно контролировать стратиграфические построения, получаемые отдельными методами, а, кроме того, привносит в характеристику стратиграфических подразделений множественные признаки. Именно комплексное применение разных методов обеспечивает надежную стратиграфическую корреляцию разнофациальных толщ как регионального, так и межрегионального и субглобального масштаба.

Следует иметь в виду, что не все методы дают информацию о геологическом времени. Самые важные сведения о нем предоставляют те методы, которые связаны с изучением необратимых геологических процессов – изотопный и биостратиграфический. С их помощью, несмотря на определенные погрешности одного и относительность временных датировок другого, и создается каркас геохронологической шкалы.

В зависимости от объекта исследования все методы могут быть разделены на две основных группы. Первая охватывает палеонтологический (биостратиграфический) метод, основывающийся на изучении ископаемых остатков организмов и их распределении по разрезу. Эти методы в целом являются ведущими, так как они в первую очередь позволяют устанавливать возраст выделенных стратиграфических подразделений путем их непосредственной корреляции с подразделениями общей и региональной шкал. Вторая группа методов – это непалеонтологические методы (Рис.3).

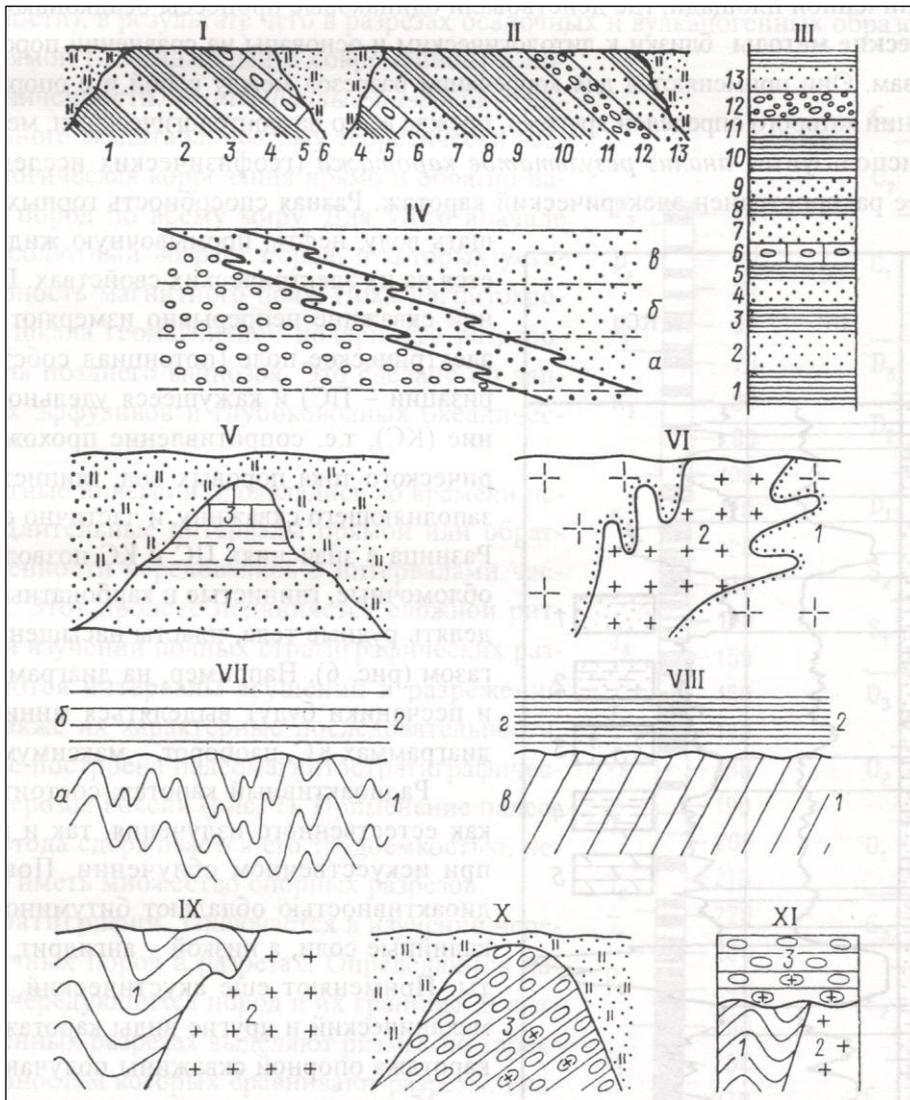


Рис. 3. Примеры, иллюстрирующие применение непалеонтологических методов при определении последовательности образования пород (по Е.В.Владимирской и др., 1985).  
 I-III - маркирующий горизонт - слой б; IV - изменение возраста слоя при перемещении береговой линии (а, б, в - разновозрастные уровни); V - верхний слой моложе нижнего; VI - интрузия 2 моложе вмещающей интрузии 1; VII, VIII - выделение структурных этажей 1, 2 (а - гнейсы, б - песчаники, в - амфиболиты, г - аргиллиты); IX-XI - выяснение взаимоотношений с интрузией (IX - граниты 2 моложе толщи сланцев 1); X - конгломераты 3 с галькой гранитов, обнажение на задернованном склоне; XI - общая последовательность пород в стратиграфической колонке): граниты 2 моложе толщи сланцев 1, а толща конгломератов 3 моложе 1 и 2.

В эту группу входят методы, основанные на изучении вещественного состава пород, их физических и химических характеристик, условий залегания, физико-географических и тектонических условий образования и т.д. Разделы стратиграфии, опирающиеся на какой-нибудь один из этих методов, часто именуются, соответственно, литостратиграфией, магнитостратиграфией, климатостратиграфией и т.д. Это создает видимость множества стратиграфий, что неверно. Как уже было отмечено ранее, стратиграфия едина, а различаются лишь методы, которые применяются при стратиграфических исследованиях. Тем не менее, обособление отдельных разделов стратиграфии удобно и отражает весьма своеобразную специфику используемых критериев при расчленении и корреляции разрезов.

### 9.1. Биостратиграфический метод.

Как уже было отмечено ранее, биостратиграфический метод, основанный на необратимости эволюции органического мира, является ведущим методом расчленения и

корреляции горных пород. Именно на его основе удастся осуществить самое детальное расчленение и самую достоверную корреляцию осадочных толщ. Он универсален и, позволяя изучать толщи разного возраста, разного состава и разной фациальной принадлежности, служит для контроля результатов, полученных другими методами. В XX в. биостратиграфия стала широко использовать биологические данные – прежде всего в рамках синтетической теории эволюции. Это позволило во многом по-новому подойти к изучению органических остатков, вносить коррективы в систематику тех или иных ископаемых групп и объективнее, чем ранее, интерпретировать палеонтологические данные в стратиграфических целях с учетом материалов по эволюции отдельных сообществ и биосистем в целом.

Термин “биостратиграфия” впервые был предложен в 1909 г Л. Долло, предложившим отличать собственно палеонтологию от стратиграфической палеонтологии.

Биостратиграфический метод возник в эпоху представлений о постоянстве видов. Как это ни парадоксально, с этим временем совпала “героическая эпоха” в развитии стратиграфии. Вопреки принятым на вооружение неверным теоретическим предпосылкам геологи школы катастрофистов достигли больших успехов. Их заслугой явились первоначальная разработка и пропаганда биостратиграфического метода. Была воссоздана общая картина развития фаун и флор от кембрия до наших дней. Возросла дробность выделяемых стратиграфических подразделений. Сложилось используемое до сих пор деление на системы. Успешно используя сравнительно-анатомический метод и, признавая существование прогрессивного ряда, сменявших друг друга после катастроф фаун и флор, они подготовили почву для возникновения и победы эволюционной идеи. С возникновением эволюционной палеонтологии биостратиграфический метод получил настоящее обоснование и полностью раскрыл таившиеся в нем возможности.

Объектом биостратиграфических исследований являются ископаемые остатки организмов и толщи осадочных пород, в которые они заключены. Наряду с исследованиями, состоящими из сборов, детального изучения и определения ископаемых остатков, биостратиграфический метод включает в себя анализ распределения органических остатков в соответствующих отложениях, исследование зависимости комплексов остатков организмов от характера пород, наблюдения над особенностями захоронения остатков организмов.

Расчленение разрезов методами биостратиграфии производится путем анализа вертикального распространения ископаемых остатков (которые, за исключением биогермов и ракушняков представляют собой своеобразные включения в породе) и определения рубежей, на которых происходит изменение состава ископаемых (Рис. 4). При этом разрабатываются стратиграфические схемы, основу которых составляют как

стратиграфические подразделения комплексного содержания, в которых палеонтологическое обоснование является определяющим, так и собственно биостратиграфические подразделения.

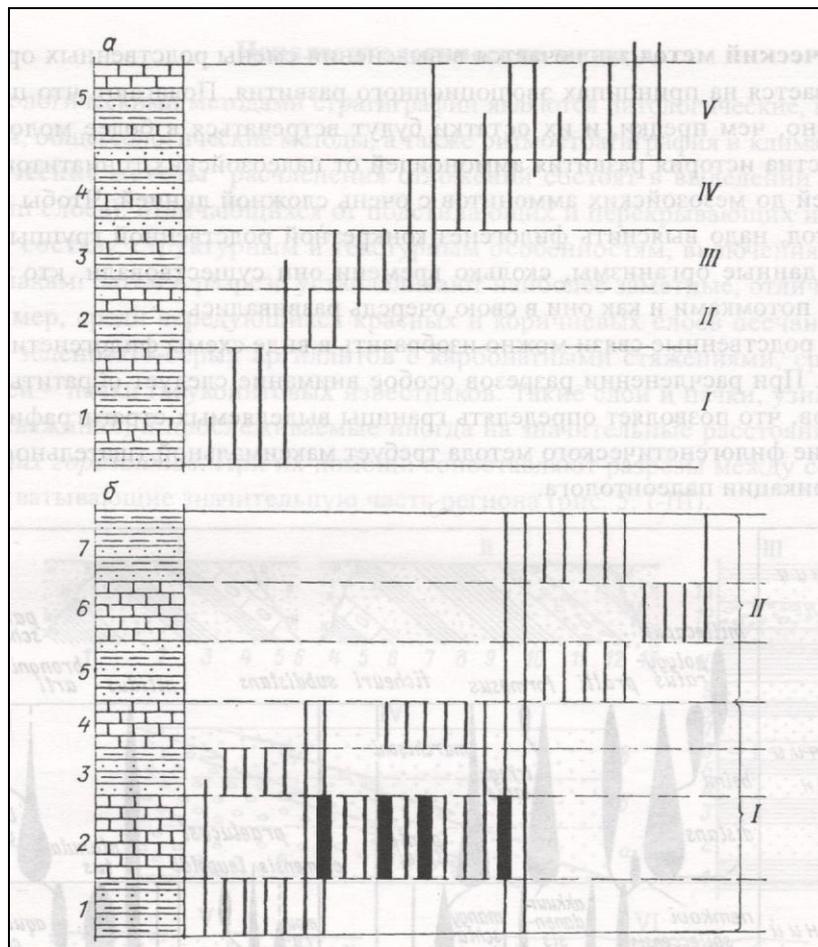


Рис. 4. Выделение разновозрастных палеонтологических комплексов (по Е.В.Владимирской и др., 1985).

В зависимости от того, как ископаемые остатки распределены по разрезу, среди них можно выделить следующие основные группы (Рис. 5):

1) Руководящие ископаемые, встречающиеся только в конкретном слое и не переходящие в подстилающие и покрывающие отложения. Такие формы особенно важны. Среди них обычно выбираются зональные роды или виды.

2) Характерные (контролирующие) ископаемые, которые достигают расцвета в данном слое, но могут встречаться как ниже, так и выше данного слоя.

3) Ископаемые, впервые появляющиеся в данном слое, но достигающие расцвета выше.

4) Доживающие ископаемые, испытавшие расцвет ниже и исчезающие в данном слое.

5) Транзитные (проходящие) ископаемые, которые помимо данного слоя развиты и в других, расположенных как выше, так и ниже, и не обнаруживающих явных признаков расцвета ни в одном из них. Эти формы обычно используются лишь для общей характеристики соответствующих подразделений.

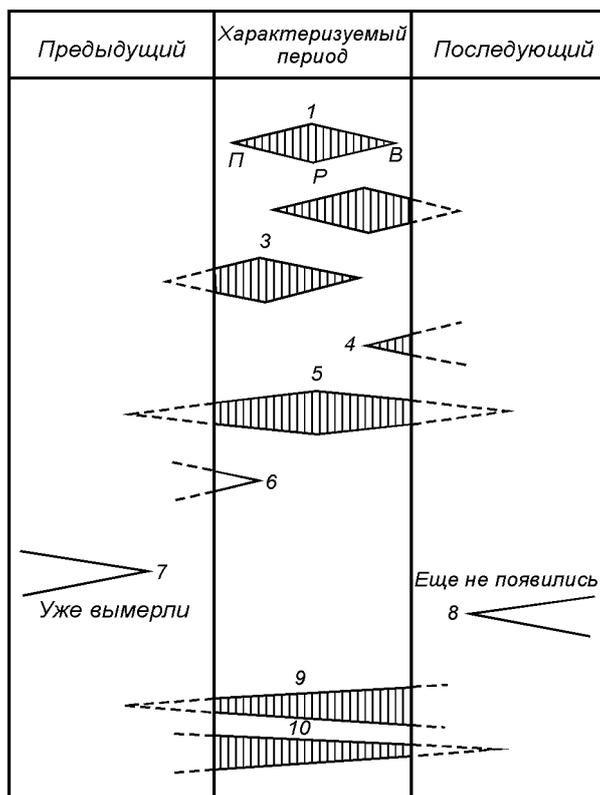


Рис. 5. Схема биостратиграфического анализа (по [Жемчужников, 1934]).

Заштрихованные ромбы – развитие отдельных групп или форм. Буквенные обозначения: п – появление; р – расцвет; в – вымирание. Цифровые обозначения: 1 – группа (форма), свойственная только данному стратиграфическому подразделению (руководящая); 2 – группа (форма). Появляющаяся и достигающая расцвета в данном стратиграфическом подразделении, но переходящая в вышележащие слои (характерная); 3 – форма (группа), появившаяся в нижележащих слоях, но достигающая расцвета и исчезающая в данном подразделении (характерная); 4 – группа (форма), впервые появляющаяся в данном подразделении, но достигающая расцвета в более высоких слоях; 5 – группа (форма), появляющаяся в нижележащих слоях и исчезающая в вышележащих слоях, но характерная для данного подразделения; 6 – форма (группа), переходящая из нижележащих слоев и исчезающая в данном подразделении (“доживающая”); 9 и 10 – группы (формы), распространенные в нескольких стратиграфических подразделениях, не обнаруживая явных признаков расцвета ни в одном из них (“консервативные”, или “транзитные”).

Среди устанавливаемых в разрезе границ биостратиграфических подразделений, предпочтительнее всегда будут уровни, контролируемые появлением или исчезновением не одного, а нескольких ископаемых. В литературе часто обсуждается вопрос о том, чему следует отдавать предпочтение при проведении границ – появлению или исчезновению ископаемого. По-видимому, такая постановка вопроса неправомерна. Исчезновение ископаемых в разрезах может совпадать с моментом их вымирания, но может быть связано с размывами, зависимостью организмов от фаций, неполнотой сборов и другими причинами. Равным образом, появление ископаемого в разрезе может совпадать с моментом его возникновения, но может зависеть и от путей и скорости миграции, а также от указанных выше причин. Поэтому в общем случае границы, проведенные по появлению и исчезновению ископаемых, следует признать равноценными.

Следует также отметить, что собственно биостратиграфических подразделений, выделяемых без хотя бы неявного обращения к непалеонтологическим признакам, по всей видимости, не существует. Они всегда имеют явную или скрытую палеоэкологическую природу, отвечая следам экосистемных перестроек. Наблюдая в разрезе изменение комплексов ископаемых организмов, сопровождаемое какими-то изменениями в литологической характеристике, мы в действительности наблюдаем след экосистемной перестройки. Любые интерполированные и не выраженные в разрезе границы являются просто гипотетическими линиями, вводимыми в изображения разрезов исключительно из соображения удобства.

Некоторые ученые считают, что палеонтологически обоснованной можно считать лишь такую границу, где наблюдается эволюционная, а не экологическая смена организмов. Это – слишком сильное требование, практически невыполнимое в силу ненаблюдаемости “первого появления” видов. Нельзя связывать первое появление вида в разрезе с филогенетическим эпизодом собственно возникновения вида, а можно лишь констатировать вхождение данного вида в палеоэкологическую систему данного стратона. Тем более нельзя считать эволюционным явлением увеличение количества остатков таксона в разрезе – это экосистемное явление.

Биостратиграфическая корреляция основана на сходстве органических остатков, характерных для соответствующих стратиграфических подразделений. Относительный геологический возраст отложений определяется корреляцией соответствующих отложений с общей шкалой.

### **9.1.1. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии.**

С самого зарождения биостратиграфического метода неравномерность распределения отдельных групп ископаемых организмов во времени и пространстве, различные темпы их эволюции, степень приуроченности к определенным отложениям, разная частота встречаемости привели к тому, что при расчленении и корреляции отложений разных систем одним группам ископаемых отдавалось предпочтение перед другими.

Группы ископаемых, на которых основана широкая корреляция, получили название архистратиграфических (ортостратиграфических), а группы, использование которых для этой цели затруднительно – парастратиграфических.

К сожалению, не существует организмов, развитых повсеместно. Любой из них занимает определенную, ограниченную в своем распространении множеством факторов (глубиной, характером грунта, соленостью воды и т.д.) экологическую нишу. Учитывая то,

что архистратиграфические группы должны иметь широкое географическое распространение, наиболее благоприятны для их выбора морские планктонные и нектонные организмы, ископаемые остатки которых позволяют осуществлять межконтинентальную, а иногда и глобальную корреляцию. Классическими, быстро эволюционировавшими и хорошо зарекомендовавшими себя при биостратиграфических построениях группами являются головоногие моллюски, граптолиты, конодонты, известковый наннопланктон (Рис. 6). Для расчленения и корреляции континентальных отложений, в особенности угленосных, решающую роль играют растительные остатки.

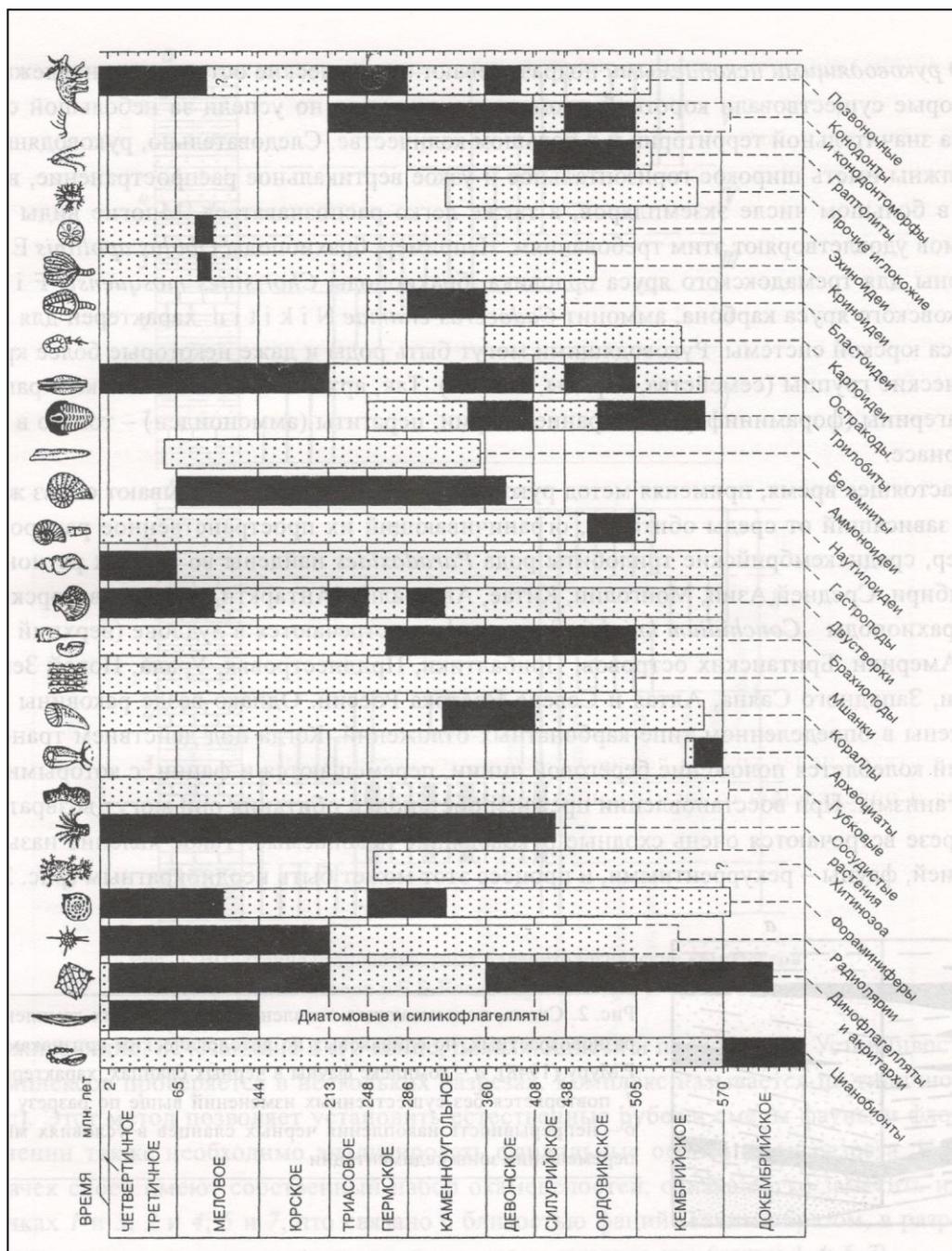


Рис. 6. Стратиграфическое значение главных групп морских беспозвоночных в фанерозе (П.Рич и др., 1997).

В последнее время особенно популярными стали планктонные сообщества, которые на зональной основе плодотворно используются для широких глобальных и межрегиональных корреляций сравнительно глубоководных толщ. Вместе с тем, бентосные группы до сих пор остаются опорными при расчленении относительно мелководных толщ, в пределах отдельных регионов, обеспечивая дробную зональность провинциального и межрегионального масштабов.

Идея архистратиграфических групп заключается в том, что стратоны, установленные в результате их изучения, характеризуются изохронными поверхностями. Деление на архистратиграфические и парастратиграфические группы в значительной степени условно. Так, гониатиты представляют собой группу, очень важную для сопоставления удаленных разрезов среднего и верхнего палеозоя. В то же время, редкость находок зачастую исключает возможность их использования. В то же время брахиоподы, дающие менее определенные указания на возраст пород, благодаря частой встречаемости в тех же отложениях, в повседневной работе при геологическом картировании могут иметь большое значение. В закрытых районах из-за редкости макрофауны в керне, ведущая роль переходит к микрофауне.

Многие группы ископаемых, считавшихся консервативными, становятся очень важными после разработки новых методов исследований. История биостратиграфии знает много примеров, когда группы, не имевшие почти никакого биостратиграфического значения, с применением новой методики их изучения становились в этом отношении важными и даже ведущими. Так, еще в 1963 г. считалось, что радиолярии не очень важны для стратиграфии, но уже в 1970 г. были выделены радиоляриевые зоны в осадках Атлантики. Сейчас эта группа является одной из основных для стратиграфии кайнозоя. Еще в 1845 г. были установлены конодонты, но лишь сравнительно недавно они стали важнейшей, не уступающей аммонитам, группой для огромного (от ордовика до триаса) интервала.

### **9.1.2. Метод руководящих ископаемых.**

Расчленение и сопоставление разрезов по руководящим ископаемым явилось наиболее ранней формой применения биостратиграфического метода в стратиграфии.

Понятие “руководящие формы”, как уже было отмечено ранее, первым применил во второй половине XIX века немецкий палеонтолог Г. Бронн. Давая палеонтологическую характеристику геологических систем и ярусов, он показал, что вопреки господствовавшим в то время представлениям, многие виды не вымирали на границе двух геологических систем,

а переходили из одной в другую. В связи с этим Г. Бронн и ввел в науку понятие об “отличительных” или “руководящих” ископаемых, встречающихся только в данном стратиграфическом подразделении. Он также привел списки и описания руководящих форм для каждой системы.

Сущность метода руководящих ископаемых состоит в том, что корреляция проводится по находкам строго определенных ископаемых, которые приурочены к одновозрастным слоям (Рис.7). Впервые этот метод применил В. Смит при корреляции юрских отложений Англии. На этой же основе А. Орбиньи разработал ярусную и зональную шкалу юры и мела.

Руководящие ископаемые должны удовлетворять определенным требованиям. Важнейшими среди них являются следующие:

- 1) Узкий стратиграфический интервал распространения.
- 2) Широкое географическое распространение.
- 3) Независимость от фаций (руководящие ископаемые должны встречаться в разных по вещественному составу породах).
- 4) Массовая встречаемость.
- 5) Наличие характерных морфологических признаков, обеспечивающих быстрое и однозначное определение.
- 6) Хорошая степень сохранности.

Концепция руководящих ископаемых дала большой толчок к изучению палеонтологического материала и сыграла выдающуюся роль в установлении систем, отделов и ярусов на всех материках. Для своего времени метод руководящих ископаемых был прогрессивным. Он отличался простотой, убедительностью своей основной идеи, которая исходила из очень широкого понимания вида, когда многие родственные формы принимались за одну. Это обеспечивало некоторое практическое удобство, так как позволяло сопоставлять многие удаленные разрезы. В первом приближении они увязывались, а более сложные стратиграфические взаимоотношения между ними были вскрыты лишь гораздо позже.

Следует отметить, что многие ученые с большим сомнением относились к сопоставлению пород на основе тождества руководящих ископаемых. Так еще В.О. Ковалевский, называвший такую школу “ракушечно-геологической”, говорил, что данная процедура не требует ни ума, ни знаний. Знать, что какой-то вид характеризует какой-то слой так же не хитро, как наборщику знать, что какая-то буква лежит в таком-то ящике. В письме к брату в 1871 г. В.О. Ковалевский писал: “Меня не раз уже подбивали на маленькие работы, но все не хочется, ну стоит ли взять какой-нибудь ряд слоев и описывать ракушки,

наколоченные из них? А все работы по геологии делаются так”. С течением времени значение руководящих ископаемых как универсальных показателей геологического времени пришлось пересмотреть.

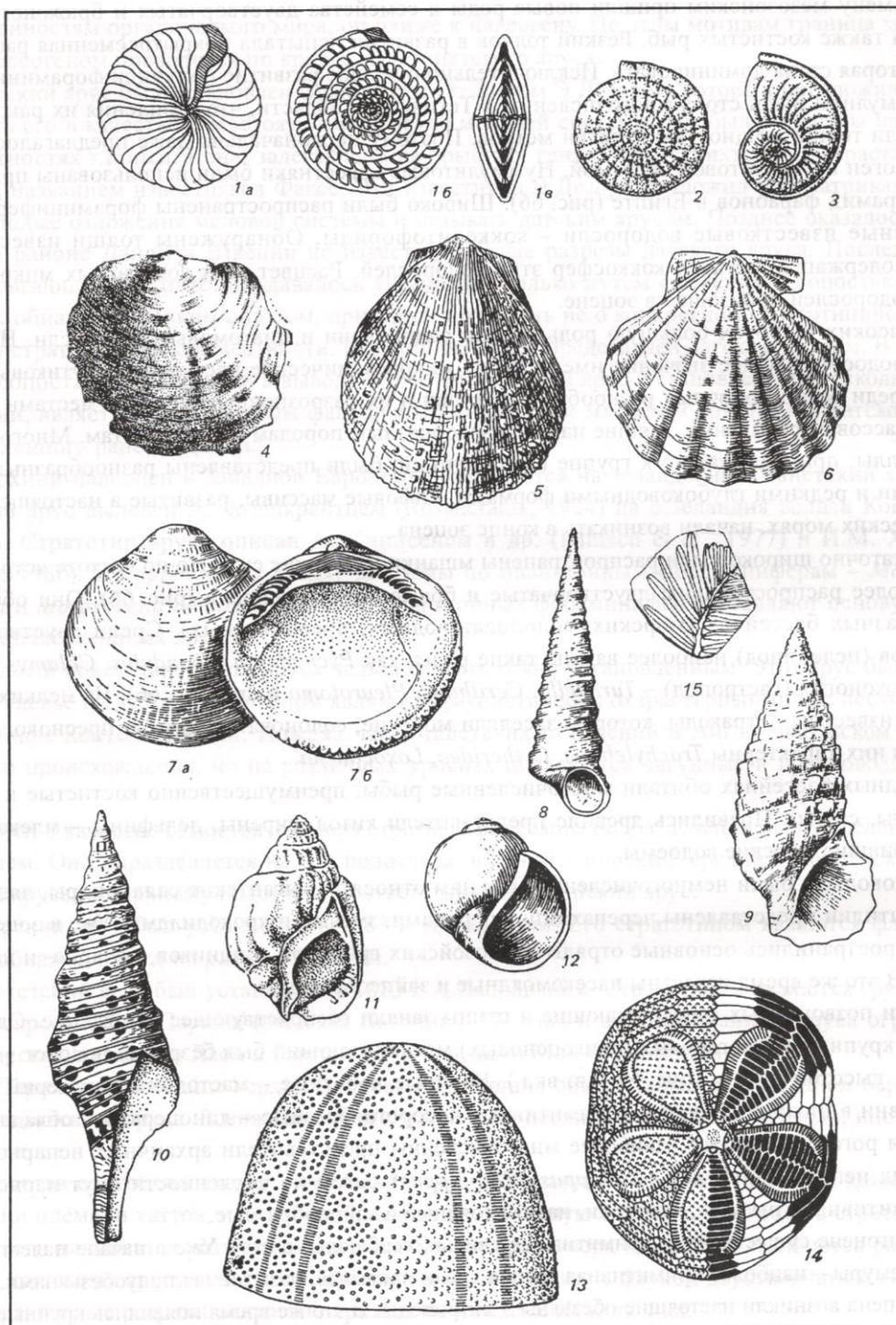


Рис. 7. Характерные ископаемые остатки палеогеновых организмов.

Фораминиферы: 1а, б, в - *Nummulites* (палеоген - преимущественно эоцен), 2 - *Assilina* (палеоцен - эоцен), 3 - *Operculina* (поздний мел - ныне); двустворки: 4 - *Pycnodonta* (палеоцен), 5 *Spondylus* (юра - ныне, преимущественно кайнозой), 6 - *Chlamys* (триас - ныне), 7а, б - *Glycymeris* (мел - ныне, преимущественно кайнозой); гастроподы: 8 - *Turritella* (мел - ныне), 9 - *Cerithium* (поздний мел - ныне), 10 - *Pleurotoma* (палеоген - ныне), 11 - *Nassarius* (эоцен - ныне), 12 - *Natica* (палеоген - ныне); морские ежи: 13 - *Conoclypeus* (эоцен - миоцен), 14 - *Clypeaster* (эоцен - ныне); голосеменные растения: 15 - *Sequoia* (палеоген - ныне).

Метод руководящих ископаемых имеет ряд недостатков, существенно ограничивающих его применение. Прежде всего, следует отметить, что нет абсолютных космополитов, то есть повсеместно распространенных видов. Поэтому возможность корреляции разрезов методом руководящих ископаемых всегда ограничивается определенными районами. Корреляция методом руководящих ископаемых предполагает быстрое расселение видов, иначе слои, их содержащие, нельзя было бы считать одновозрастными. Возможность почти мгновенного в геологических масштабах времени распространения организмов на большие площади была показана еще Ч. Дарвиным. Однако скорость расселения видов может значительно замедляться самыми различными препятствиями (рельеф, течения, климатические факторы и др.) на путях их миграции. В результате в разных районах тот или иной вид мог появиться в разное время. Соответственно, отложения, содержащие остатки одного и того же вида, часто могут и не быть одновозрастными.

В настоящее время метод руководящих ископаемых продолжает сохранять большое практическое значение в пределах небольших районов с выдержанными фаціальными условиями на первой предварительной стадии установления возраста пород, особенно в полевых условиях, однако обстоятельства, ограничивающие использование метода руководящих ископаемых заставляют отдавать предпочтение методу анализа всего комплекса собранных ископаемых.

### **9.1.3. Метод анализа комплексов ископаемых.**

Данный метод, получивший развитие во второй половине XIX в. основан на анализе всех видов, входящих в тот или иной комплекс ископаемых, изучении их распределения в разрезах и их прослеживании. Границы между выделенными таким образом биостратиграфическими подразделениями проводятся по смене зональных комплексов, что выражается в исчезновении одних таксонов и появлении других. Метод является более трудоемким, чем метод анализа руководящих ископаемых, так как требует кооперации специалистов по разным группам ископаемых, но имеет по сравнению с ним ряд преимуществ. Благодаря тому, что анализируются не отдельные, выхваченные из комплекса виды, а обширные комплексы видов, резко возрастает число коррелируемых разрезов, так как в рассмотрение вводятся и те разрезы, в которых по каким-то причинам не обнаружены руководящие виды. Для корреляции привлекается существенно больше таксонов. Определенную стратиграфическую ценность при этом приобретают даже относительно медленно изменявшиеся формы, которые, как правило, чаще всего встречаются в

обнажениях. При использовании данного метода появляется возможность сравнительно объективной оценки изохронности границ, так как при анализе большого количества таксонов нивелируются возможные ошибки в определении стратиграфического распространения отдельных форм. Чем больше в комплексе форм, близко подходящих к понятию руководящих ископаемых, тем ценнее этот комплекс для стратиграфических целей.

Необходимо также отметить, что характер изменчивости комплекса в целом будет иметь несравненно большее значение, чем изменчивость отдельных форм. Допустим, какой-то исследуемый комплекс включает три группы видов, относящихся к разным типам. При более или менее резкой смене внешних условий все эти три группы прореагируют на них, но каждая по-своему. Одна, предположим, мало заметно, вторая довольно заметно, а третья резко. Если строить выводы не то что по отдельным видам, а и по отдельным группам, то в первом случае характер изменений и наличие какого-то рубежа в развитии данного района могут быть почти не замечены. Во втором случае этот рубеж бросится в глаза. В третьем – он будет казаться глубоким и значительным. При исследовании комплекса в целом, зная характер реагирования каждой группы на конкретные внешние изменения и корректируя общий вывод по каждой из них, можно не только достоверно зафиксировать на определенном уровне границу между двумя этапами развития изучаемого района, но и представить себе масштаб происходивших явлений, а отсюда и ранг наметившегося рубежа.

Как правило, комплекс ископаемых устанавливается в одном разрезе, который является справочным. Обычно в каждом разрезе состав комплекса претерпевает изменения, но из-за того, что сам комплекс определяется многими видами, возможно его прослеживание на большое расстояние.

При всех очевидных преимуществах рассматриваемого метода, он не лишен недостатков. Одним из них, существенно затрудняющих однозначное проведение границ между биостратиграфическими подразделениями и их прослеживание, является то, что стратиграфические уровни, на которых фиксируется появление или исчезновение таксонов, в разных группах организмов не совпадают.

При сопоставлении по комплексам нужно также все время принимать во внимание фациальную обстановку. В некоторых случаях в разных по составу отложениях 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.

В настоящее время данный метод расчленения и корреляции является ведущим.

### 9.1.4. Эволюционный метод.

Под эволюционным методом понимается расчленение и корреляция, основанные не на присутствии в разрезах одинаковых форм или комплексов, а на одинаковом уровне их эволюционного развития. Разрезы с помощью этого метода расчленяются на стратоны, отвечающие последовательным этапам в развитии какой-нибудь группы организмов (Рис.8). Чем мельче группа и тоньше различия, тем более дробные единицы получают обоснование для выделения. Метод предполагает использование таких групп организмов, этапность развития которых хорошо проявлена в последовательном ярком изменении морфологических признаков. Сами признаки при этом приобретают биостратиграфическое значение.

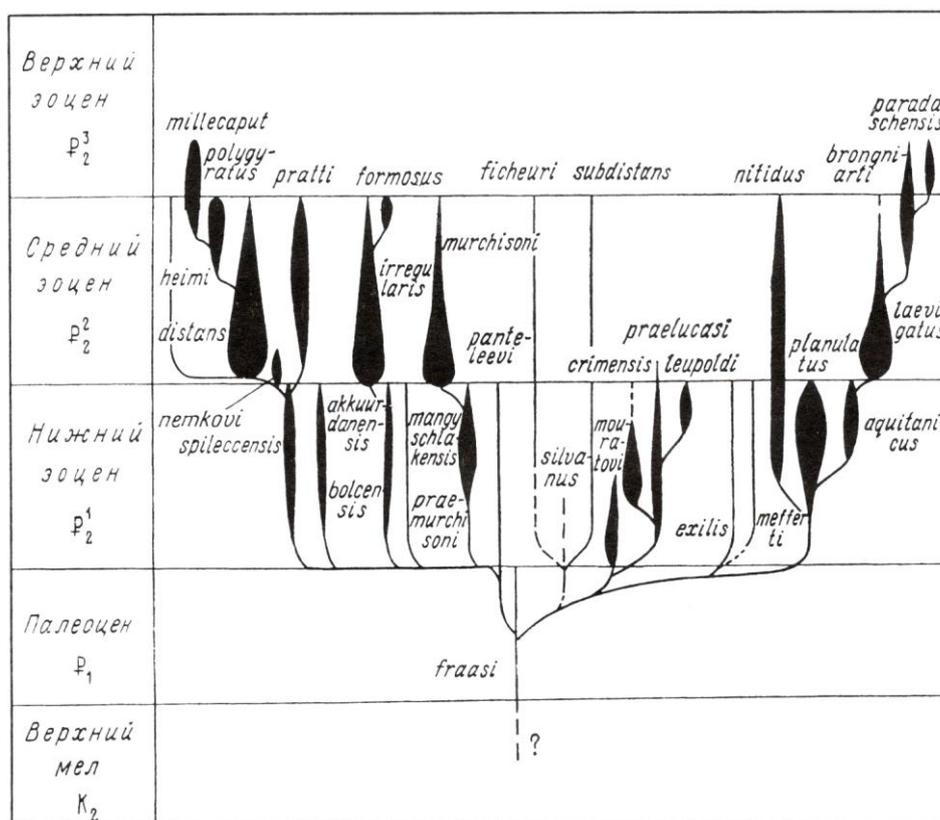


Рис. 8. Схема филогенетических взаимоотношений видов нуммулитов (подрод *Nummulites*). По Г.И.Немкову, с упрощением.

Основоположником данного метода является В.О. Ковалевский, которому удалось блестяще проиллюстрировать общее направление в преобразовании многопалой конечности в однопалую на примере изучения млекопитающих (семейство лошадиных). В.О. Ковалевский писал: “Изучение млекопитающих дает нам в руки средство решать хронологические вопросы почти безусловно верно даже в тех случаях, когда изучение налегания не дает точных результатов. Млекопитающие – это единственная группа животных, в которой мы можем построить строгие родословные линии, а такие

родословные, давая нам всегда несомненных предков и потомков, обыкновенно решают и вопрос о последовательности, потому что последние не могли существовать перед первыми”. Позднее эволюционный метод удалось применить и по отношению ко многим группам беспозвоночных. Хорошим примером этому может послужить установление соответствия крупных этапов развития амmonoидей определенным системам. Сейчас возможно определение подъярусов и даже отдельных зон некоторых ярусов мезозоя исходя только из общего облика аммонитов, без предварительного их определения.

Этот метод имеет особое значение для предварительной корреляции разрезов, содержащих не тождественную, а подобную фауну далеко удаленных друг от друга регионов.

Как уже было отмечено, особенно часто этим методом пользуются при анализе остатков позвоночных. Они, по сравнению с беспозвоночными, редки, поэтому корреляция по их видовому составу затруднительна. В то же время эволюционный уровень таких остатков часто существенно отличается.

При всех несомненных преимуществах эволюционного метода его использование имеет ряд ограничений. В частности, он требует очень квалифицированных и тщательных палеонтологических исследований. Кроме того, трудности в использовании данного метода связаны с тем, что эволюционные процессы редко имеют строго линейный характер. В процессе изменения признаков возможно возвращение к исходному варианту. Наконец, к ошибкам может привести принятие так называемых морфологических рядов за собственно филогенетические ряды. Примером таких параллельных рядов являются известные американский и европейский параллельные ряды лошадиных. Возникновение близких в морфологическом отношении параллельных линий, не связанных непосредственно в филогенетическом отношении, не так редко, в том числе и у беспозвоночных.

#### **9.1.5. Количественные методы.**

Необходимость учета большого числа таксонов при сопоставлении и стремление к объективной оценке комплексов заставили ученых обратиться к статистическим оценкам состава комплексов. В основу этих методов положен количественный подсчет форм из исследуемых отложений, общих с ископаемыми нескольких наиболее близких по возрасту стратиграфических единиц. Впервые подобный подход применили П. Деге и Ч. Лайель. В 1831 г. на заседании французского геологического общества палеонтолог П. Деге доложил результаты своих исследований по сравнению видов современных моллюсков с ископаемыми из третичных пород. П. Деге изучил 4639 видов ныне живущих моллюсков и

2902 вида ископаемых из третичных пород Франции, Англии, Италии и других стран. На основе их анализа он пришел к выводу о том, что третичные породы представляют три эпохи, различные как по комплексу свойственных им видов, так и по соотношению в каждом из этих комплексов видов аналогичных ныне живущим и видов уже исчезнувших. Первый наиболее древний комплекс по данным П. Деге заключал 3% видов аналогичных современным. Второй комплекс – 19%, а третий комплекс – 52%. Следует отметить, что в результате этих исследований выделенные стратоны впервые в истории стратиграфии получили чисто палеонтологическое обоснование.

В 1833 г. Ч. Лайель в третьем томе своей книги “Основные начала геологии” назвал комплексы П. Деге эоценом, миоценом и плиоценом. По данным Ч. Лайеля, изучившим в общей сложности 3036 видов моллюсков, эоцен заключал 3,25% видов аналогичных современным, миоцен – 18%, а плиоцен – 49%.

Надо отметить, что такое расчленение оказалось формальным. В ходе дальнейшего изучения третичных пород в других районах на основе использования геологических и палеонтологических критериев была разработана, по сути, новая шкала третичных пород, связанная со шкалой П. Деге и Ч. Лайеля лишь в номенклатурном отношении.

В 30-40-е годы XX в. получил распространение процентно-статистический метод, в ходе которого стратоны сравниваются на основании процентного содержания в них ископаемых. По несложным формулам определяются коэффициенты сходства комплексов, подсчитывается число появившихся и, наоборот, исчезнувших видов на тех или иных стратиграфических уровнях, выявляется цикличность количественных изменений комплексов по разрезу. Особенно большое значение приобретает статистическая обработка при изучении микрофоссилий (спор, диатомовых водорослей и др.).

Количественные методы устанавливают лишь формальное сходство, так как не существует никаких норм, определяющих необходимую степень сходства, достаточную для уверенной корреляции. Коэффициенты сходства одновозрастных комплексов в ряде случаев могут быть равны нулю. Из-за этого многие исследователи считают необходимым полностью от них отказаться. Но не следует забывать, что эти методы в течение долгого времени играли в стратиграфии важную роль и на их основе были достигнуты большие успехи. В сочетании с тщательной палеонтологической обработкой материала, с учетом фациальных и палеоэкологических особенностей отложений, слагающих разрез, и, конечно, при тщательно собранном представительном материале, количественные методы могут весьма эффективно использоваться в современных работах по детальной стратиграфии.

### 9.1.6. Микропалеонтология.

Описанные выше методы биостратиграфии могут применяться с использованием любых групп ископаемых организмов. Однако микропалеонтологические объекты обладают некоторой спецификой и изучаются микропалеонтологией. Основателем микропалеонтологии считают А. Орбиньи, который занимался исследованием раковин фораминифер из отложений различного возраста и разных регионов и в 1826 г. разработал первую классификацию этих организмов.

К объектам исследования микропалеонтологии относятся споры и пыльца высших растений, панцири диатомовых водорослей, известковые пластинки жгутиковых водорослей (кокколиты). Микроскопическими остатками животных являются целые раковины простейших (фораминифер, радиолярий) и ракообразных – остракод, а также мелкие части крупных организмов (спикулы губок, иглы и пластинки морских ежей, членики морских лилий, конодонты, зубы рыб, отолиты – известковые образования в слуховом аппарате некоторых костистых рыб, сколекодонты – хитиноидные остатки челюстного аппарата полихет и некоторые другие).

Развитие этого направления исследований было обусловлено в первую очередь расширением буровых работ на нефть. Особенно большое значение микропалеонтология имеет в нефтяной геологии и геологии океанов, где геологические образцы добываются с помощью бурения скважин, в кернах которых, как правило, отсутствуют макроскопические остатки.

Благодаря малым размерам микрофоссилии в изобилии могут обнаруживаться даже в небольших образцах, в том числе в кернах буровых скважин, что делает их незаменимыми для расчленения и корреляции разрезов по керновому материалу. Многие микроорганизмы являлись планктонными, то есть относительно независимыми от фациальных условий, в которых формировались содержащие их отложения. Поэтому такие организмы имеют исключительное значение для широких субглобальных и глобальных корреляций. Остатками планктонных организмов чаще всего бывают охарактеризованы отложения, накапливавшиеся на больших глубинах, где донная фауна практически отсутствовала и не может помочь при стратиграфических построениях. Исключительное значение для корреляции морских и континентальных отложений имеет так называемый спорово-пыльцевой анализ. Споры и пыльца наземных растений обладают довольно высокой сопротивляемостью разрушению и могли ветром разноситься на большие расстояния. Так, изучение современных растений показывает, что пыльца таких деревьев, как сосна, береза и ольха может переноситься на расстояние 160-220 км. Совместное нахождение спор, пыльцы

и остатков морских организмов в тех или иных слоях разреза позволяет сопоставлять подразделения стратиграфических схем, разработанных для морских и континентальных отложений.

#### **9.1.7. Классификация биостратиграфических подразделений.**

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), в том числе к датированным уровням. Основной единицей биостратиграфических подразделений является биостратиграфическая зона, которая может подразделяться на подзоны, составляющие в сумме полный стратиграфический объем зоны.

К вспомогательным биостратиграфическим подразделениям относятся слои с фауной (флорой) и датированные уровни.

Биостратиграфическая зона это совокупность слоев, которая характеризуется определенным таксоном или комплексом древних организмов (зональный комплекс), отличающимися от таковых в подстилающих и перекрывающих слоях, и имеет нижнюю и верхнюю границы, установленные биостратиграфическим методом.

Зональные комплексы смежных по разрезу биостратиграфических зон, как правило, должны отвечать требованиям смыкаемости и (или) преемственности в составе палеонтологических таксонов или отражать смену экологических условий. Смыкаемость смежных зон – это отсутствие разрывов в зональной последовательности, то есть отсутствие стратиграфического интервала, который не охарактеризован данной группой организмов, и отсутствие перерыва в осадконакоплении. Преемственность смежных зон может наблюдаться при доказанном наличии непрерывной последовательности филозон в непрерывном разрезе.

Выделение одной зоны среди не расчлененных на зоны отложений не допускается. В этом случае выделяются вспомогательные биостратиграфические подразделения – слои с фауной (флорой).

Географическое распространение биостратиграфической зоны ограничивается распространением зонального комплекса остатков организмов.

Биостратиграфические зоны по палеонтологическому и стратиграфическому критериям могут быть представлены зонами разных видов. Наиболее употребительными из них являются следующие:

1. Зона распространения таксона (биозона) – совокупность слоев, охватывающих полный стратиграфический интервал распространения какого-либо палеонтологического таксона, чаще вида. Биозона, соответствующая полному стратиграфическому распространению рода называется генозоной.
2. Зона совместного распространения – слои, отвечающие, совпадающим частям интервалов стратиграфического распространения двух выбранных таксонов, биозоны которых могут быть различны.
3. Филогена – слои, в которых распространены таксон (таксоны), представляющий собой отрезок конкретной филогенетической линии или тенденции (тренда) развития этой линии, ограниченной снизу и сверху по разрезу изменениями в характере развития.
4. Интервал-зона – слои, заключенные между первым появлением какого-либо характерного таксона (обычно вида-индекса) данной зоны и первым появлением характерного таксона (обычно вида-индекса) вышележащей зоны. В пределах непрерывной последовательности интервал-зоны могут выделяться и как слои, заключенные между уровнями исчезновения характерного таксона подстилающей зоны и характерного таксона рассматриваемой зоны.
5. Акмезона (эпибола) – слои, в которых какой-либо таксон достигает максимума частоты встречаемости.
6. Комплексная зона – совокупность слоев, охарактеризованных комплексом древних организмов из трех или более таксонов, отличным от комплексов подстилающих и перекрывающих слоев.
7. Экозона – разновидность комплексной зоны, слои в которых комплекс остатков организмов отражает их прижизненную экологическую ассоциацию или тафономические особенности ориктоценоза.

Комплексная зона, экозона и зона совместного распространения должны иметь стратотип. Для остальных видов зон желательно указание разреза, в котором установлена соответствующая зона.

Наибольшее значение из указанных подразделений имеют биозоны и комплексные зоны, границы которых считаются изохронными. Очень надежно расчленение отложений на

филозоны, которые в наиболее чистом виде проявляются в однородных по вещественному составу толщах, свидетельствующих о стабильности условий, на фоне которых эволюционирует та или иная группа фауны или флоры.

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

Биостратиграфические зоны, устанавливаемые по разным группам организмов, независимы. Совпадение стратиграфического объема зон, выделяемых на основании разных групп (таксонов) органического мира, не может служить поводом для упразднения какой-либо из них.

По ареалу своего распространения биостратиграфические зоны подразделяются на местные и провинциальные.

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 определенной фациально-экологической обстановки соответствующего участка палеобассейна седиментации.

Провинциальная зона (лона) – биостратиграфическая единица, латеральным распространением которой определяются границы палеобиогеографической провинции или области, что нередко соответствует палеобассейну седиментации. Провинциальные зоны (лоны) используются при корреляции местных стратиграфических подразделений и выделении (обосновании) региональных подразделений – горизонтов.

Слои с фауной (флорой) – вспомогательное биостратиграфическое подразделение – представляет собой отложения, содержащие остатки организмов или сложенные ими, но не отвечающие требованиям, предъявляемым к биостратиграфической зоне. Такие слои могут выделяться в отложениях, в которых остатки организмов либо вовсе не встречаются в подстилающих или перекрывающих образованиях, либо встречаются редко.

Датированным уровнем называют поверхность слоя (нижнюю или верхнюю) или узкий и достаточно четкий интервал разреза, отвечающие существенным изменениям палеонтологических признаков: первому или последнему нахождению таксона, резкому изменению частоты его встречаемости и т.д.

### **9.1.8. Некоторые случаи, осложняющие применение биостратиграфического метода.**

Несмотря на ведущее значение биостратиграфического метода в общем комплексе методов стратиграфического расчленения и корреляции, в практике его использования нередко приходится встречаться с некоторыми затруднениями, осложняющими его применение. В сущности, все возникающие порой трудности использования биостратиграфического метода бывают обусловлены одной из двух главных причин. Первая – неполнота палеонтологической летописи, приводящая к отсутствию или недостаточности палеонтологических данных. Эта категория трудностей в большинстве случаев может быть полностью или частично преодолена за счет применения более совершенных методов распознавания ископаемых остатков и извлечения их из породы.

Вторую и главную категорию случаев, осложняющих применение биостратиграфического метода в стратиграфии, составляют комплексы ископаемых необычного или аномального состава. При всем разнообразии причин, вызывающих образование подобных комплексов, они могут быть сведены к двум главным группам.

Одна из них отличается тем, что характерные особенности аномального комплекса являются первичными и возникли еще в процессе формирования соответствующей биоты. Сюда относятся, прежде всего, случаи, связанные с такими особенностями эволюции, как параллелизм, конвергенция и др. Кроме того, первичной причиной возникновения аномальных черт комплексов могут также явиться особенности расселения и миграции. К этой категории относятся эндемизм, рекурренция и т.д.

Вторая группа комплексов аномального состава обязана своим возникновением главным образом переотложению окаменелостей. Это явление приводит к возникновению аллохтонных ориктоценозов, зачастую имеющих очень незначительное сходство с исходным биоценозом.

#### **9.1.8.1. Осложняющие факторы эволюционного порядка.**

Значительная часть затруднений, встречающихся при использовании биостратиграфического метода, связана с возникновением в процессе эволюции некоторых групп организмов морфологически сходных форм в различных и подчас далеких филогенетических ветвях. Известны многочисленные случаи ошибочных заключений о возрасте отложений на основании подобных как бы имитирующих друг друга таксонов.

Возникновение последних является следствием развития эволюционного процесса по принципу конвергентной, параллельной и итеративной эволюции.

Конвергенция, обуславливающая возрастающее сходство групп и отдельных форм, означает приобретение сходных внешних признаков неродственными организмами в ходе приспособления к обитанию в одинаковой среде. Чаще всего конвергенция охватывает общую форму. Классическим примером может служить конвергентное сходство бокалообразных прикрепленных донных организмов – губок, археоциат, одиночных кораллов, рудистов.

Параллельное развитие представляет собой независимое приобретение сходных признаков родственными организмами. Возникновение таких морфологически сходных между собой форм в двух или более параллельно развивающихся близко родственных филогенетических ветвях называется гомеоморфия. При параллельном развитии нередко возникают формы, обладающие более глубоким сходством, чем при конвергенции. Особенно опасна ошибками в установлении геологического возраста недооценка явления гетерохронной гомеоморфии, при которой имитирующие друг друга формы характеризуют совершенно различные стратиграфические уровни. Как уже отмечалось ранее, классическим примером параллельного развития являются американский и европейский филогенетические ряды семейства лошадиных.

К возникновению морфологически близких, но разновозрастных форм приводит и процесс итеративной эволюции. Смысл ее заключается в повторном появлении морфологически сходных форм, неоднократно обособляющихся от общего, длительно существующего ствола.

На практике четкое разграничение путей возникновения сходных форм возможно далеко не всегда и требует соответствующего большого и тщательно проработанного материала. Не располагая последним, на основе отдельных находок, допускающих различную интерпретацию, сделать однозначные выводы невозможно.

#### **9.1.8.2. Осложняющие факторы, связанные с расселением организмов.**

К осложняющим факторам, связанным с расселением организмов в первую очередь можно отнести эндемичные формы и комплексы. Многие виды и роды животных и растений характеризуются небольшими ареалами и относятся к категории эндемиков. Для стратиграфа эндемичные формы являются подчас существенным препятствием при установлении геологического возраста вмещающих отложений и, особенно для корреляции разрезов далеко отстоящих друг от друга. Что касается расчленения частных разрезов, а иногда и

внутрирегиональной корреляции, то в этих случаях эндемичные формы могут быть с успехом использованы наряду с формами, широко распространенными. Наибольшие трудности создают при стратиграфических исследованиях не отдельные эндемики, а существование целых эндемичных комплексов.

Эндемизм может возникнуть в результате двух процессов. Первый случай – эндемизм, возникающий в результате сокращения первоначального, обширного ареала древней вымирающей группы или вида. В этом случае мы имеем дело с так называемым палеоэндемизмом. Сокращение первоначального ареала может происходить вследствие вытеснения более приспособленными формами на фоне общего ухудшения климатических условий среды.

Неоэндемизм возникает, если область, где возникла молодая фауна или флора ограждена естественными преградами. Организмы изначально оказываются в изоляции и не успевают расселиться. Примером неоэндемичных фаун являются фауны таких крупных замкнутых бассейнов, как озер Байкал и Танганьика, которые примерно на 75% состоят из эндемиков.

Значительные трудности при определении геологического возраста и корреляции могут создать рекуррентные, то есть повторно повторяющиеся на разном стратиграфическом уровне, виды и комплексы. Явление рекуррентности связано, прежде всего, с миграцией фаун и флор, вытесненных из места первоначального обитания и существовавших некоторое время за его пределами, а затем, с восстановлением благоприятных условий, возвращавшихся на старое место, не обнаруживая сколько-нибудь существенных изменений. Рекуррентность особенно часто наблюдается в толщах с многократным чередованием отложений резко различного состава. Следует учитывать, что в некоторых случаях рекуррентность может наблюдаться и в связи с чередованием во времени разных условий для сохранения определенных ископаемых остатков.

Расселение организмов по геологическим меркам происходит обычно очень быстро. В качестве примера можно привести следующее. В 1918-1919 гг. во время Гражданской войны часть легких морских судов была переброшена из Азовского моря в Каспийское. Приросшая к днищам кораблей двустворка *Mytilaster lineatus* расселилась в нем так быстро, что уже в 1952 г. в стратиграфической схеме антропогенных отложений Северного Прикаспия в качестве местной единицы были выделены слои с этими двустворками, вышедшие на поверхность из-за спада уровня воды в Каспийском море.

Однако, как уже было отмечено ранее, из-за существования самых различных барьеров время появления отдельных форм или комплексов в новой области может существенно отличаться от такового в области их первоначального обитания. В этом новом

регионе не только время первого появления, но и весь стратиграфический диапазон распространения данной формы или комплекса могут быть совершенно отличными от того, который характеризовал его в первоначальном регионе. Распознать гетерохронный вид в составе фауны обычно удастся путем изучения всего комплекса. Впрочем, осложняющее влияние гетерохронного расселения не следует переоценивать. Организмы, которые длительное время распространялись, не могли не реагировать на какие-то новые условия обитания и, приспособившись к ним, превращались в другие виды. Так, известно, что средиземноморская двустворка *Cardium edule* распространяясь по Суэцкому каналу, прорытому в 1869 г. преодолела 150 км за 50 лет, но, двигаясь через области с водой повышенной солености превратилась в другой вид – *Cardium isthmicum*, который и расселился в Красном море.

### 9.1.8.3. Переотложение ископаемых остатков.

Комплексы ископаемых аномального состава очень часто возникают при переотложении ископаемых. Масштабы переотложения различны. В одних случаях имеет место переотложение отдельных форм, в других переотложенными являются целые комплексы. Вполне понятно, что подобные явления существенно затрудняют биостратиграфический анализ и нередко приводят к ошибкам при определении геологического возраста отложений. Переотложение также часто искажает истинную амплитуду стратиграфического распределения отдельных форм, что может служить источником последующих ошибок в стратиграфических выводах.

Переотложение ископаемых остатков может быть как из древних пород в молодые, так и из молодых пород в древние.

Среди возможных случаев переотложения ископаемых остатков из древних пород в молодые выделяют несколько типов:

1. Денудационный тип. Переотложение происходит в результате денудации суши. Снос ископаемых остатков в понижения на суше или в море происходит текучими водами. В настоящее время реки активно выносят в море ископаемые микрофоссилии. Этим, в частности, объясняется широкое распространение палеозойских, мезозойских и кайнозойских спор и пыльцы в современных осадках океанов. В тех случаях, когда размыв и вынос окаменелостей в прошлом протекал постоянно, в течение длительного времени, в разрезах часто наблюдается обратная последовательность в распределении переотложенных микрофоссилий. Так в плиоценовых

породах Азербайджана и Западной Туркмении на фоне нормального распределения остракод и фораминифер, находящихся в коренном залегании, встречены верхнемеловые, палеогеновые и миоценовые фораминиферы, в распределении которых наблюдается обратная последовательность.

2. Абразионный тип. Переотложение возникает в результате разрушения волнами морских берегов, а также за счет активной деятельности подводных течений. В последнее время доказана огромная разрушительная деятельность термообработки, также способствующая переотложению окаменелостей. Так на Новосибирских островах отступление берегов при разрушении волнами в разной мере льдистых пород достигает от 2 до 10 метров в год.

3. Оползневой тип. Переотложение окаменелостей в составе глыб (олистолитов) происходит при подводном гравитационном оползании.

4. Турбидный тип. Переотложение окаменелостей осуществляется турбидными (мутьевыми) потоками. Обнаруженных примеров этого явления известно много. Так, в Восточно-Марианской впадине (Тихий океан) скважина, пробуренная с судна “Гломар Челленджер” вскрыла на глубине 6100 м толщу турбидитов мощностью 250 м, в которой были перемешаны эоценовые, олигоценые, миоценовые и плиоценовые фораминиферы и кокколитофориды.

5. Ледниковый тип. Масштабное переотложение ископаемых происходит с помощью айсбергов в морях, а также с помощью ледников на суше. В Восточной Польше в четвертичных отложениях на площади 1 км<sup>2</sup> известен отторженец мощностью 4 м келловейских глин с аммонитами, перемещенный ледником на сотни километров на юг.

6. Вулканический тип. Происходит при захвате потоками лавы обломков коренных пород с окаменелостями с последующим образованием ксенолитов. Так в Турции в подушечных базальтах в виде ксенолитов найдены глыбы розовых сильно перекристаллизованных известняков размером до 3 м с обильными верхнетриасовыми аммонитами, белемнитами и двустворками. В коренном залегании одновозрастные известняки установлены лишь в 300 км к северу. Кроме того, возможен активный вынос микрофоссилий на дневную поверхность при извержении грязевых вулканов. Так в грязевых выбросах 45 грязевых вулканов Азербайджана установлены

обломки пород из всех ярусов, известных в коренных разрезах юго-востока Большого Кавказа – от верхней юры до плиоцена включительно. При извержении в 1909 г. самого крупного грязевого вулкана Керчского полуострова - Джау-Тепе на поверхность было выброшено 128 тысяч тонн грязи.

7. Импактный тип. Переотложение окаменелостей происходит в результате выброса ударной волной при падении метеоритов. Кратеров сейчас известно много десятков. Астроблема Рис в Боварии, возникшая в конце раннего неогена, имеет диаметр 24 км и развита среди горизонтально залегающих триасовых, юрских и палеогеновых пород. Вокруг кратера в зоне шириной 15-25 км прослеживается выброшенная брекчия мощностью до 200 м. Глыбы юрских известняков размером до 50 м оказались выброшены на расстояние до 150 км.

8. Тектонический тип. Переотложение происходит при перемещении блоков пород при надвигах, сбросах и т.д.

9. Миграционный тип. Переотложение возникает при захвате микрофоссилий (главным образом спор и пыльцы) из пород и их последующем переносе при миграции нефти.

Довольно часто встречается явление присутствия во вторичном залегании ископаемых, происходящих из более молодых, по сравнению с вмещающими отложениями стратиграфических уровней. Среди подобной разновидности переотложения можно выделить циркуляционный тип, связанный с вымывом, часто на значительную глубину, ископаемых остатков (обычно маленького размера) водой по трещинам. Интересным примером, относящимся к этой категории, явилось обнаружение в середине 50-х годов XX в. девонских и каменноугольных спор в протерозойских отложениях Украинского щита. Анализ контрольного образца показал, что споры встречаются лишь по трещинам, в то время как на участках породы, не затронутых трещиноватостью, никаких спор обнаружено не было.

Не следует также забывать о том, что переотложение окаменелостей часто связано с деятельностью человека. Подобные случаи обычно встречаются при изучении кернового материала из буровых скважин и связаны с заносом микрофоссилий из вышележащих слоев в нижележащие в составе шлама при циркуляции глинистого раствора. Засорение проб может происходить при повторном использовании мешочков для образцов, а также при неаккуратном хранении образцов. Так ранее в протерозойских и кембрийских отложениях разных районов бывшего СССР в образцах были обнаружены “колониальные водоросли”,

выделенные в группу Rifenites. Позднее было установлено, что это клетки коры современных ели, сосны, березы и ясеня. Засорение образцов произошло при их хранении в деревянных ящиках, доски которых были плохо очищены от коры.

В ряде случаев отличить переотложенные ископаемые от форм, находящихся в первичном залегании бывает чрезвычайно трудно. Обычно для этих целей используют следующие главные критерии:

1) Характер сохранности. Переотложенные формы обычно обнаруживают следы более или менее значительного разрушения или встречаются в виде фрагментов. Раковины и иные скелетные образования несут на себе следы окатанности в виде сглаживания скульптуры, коррозии, биокоррозии и иссверленности. Переотложенные ископаемые могут отличаться от окаменелостей, находящихся в первичном залегании большей степенью сортированности, цветом и другим характером минерализации и кристаллизации. Иногда внутри переотложенных раковин сохраняется порода, унаследованная от первоначального захоронения и отличающаяся от вмещающих отложений, в которых они встречены. Критерий сохранности для распознавания вторичного залегания ископаемых может быть использован далеко не всегда. Следует учитывать, что плохой сохранностью из-за транспортировки могут характеризоваться и непереотложенные формы. В то же время в некоторых породах переотложенные формы по своей сохранности подчас неотличимы от находящихся в первичном залегании.

2) Резкое возрастное несоответствие между окаменелостями из одного слоя, когда на общем фоне окаменелостей одного облика есть более древние или более молодые формы.

3) Обратная последовательность в нормальном разрезе микроостатков, на фоне закономерно изменяющегося во времени комплекса форм, находящихся в первичном залегании.

Указанные признаки желательно использовать в комплексе.

Еще один своеобразный тип аномальных ассоциаций представляют собой смешанные комплексы ископаемых, характеризующиеся совместным присутствием в одном слое разновозрастных форм, которые в условиях нормального разреза встречаются в нескольких последовательно залегающих отложениях. Подобные случаи обусловлены так называемой конденсацией разреза.

Под конденсацией в стратиграфии обычно понимают резкое уменьшение скорости осадконакопления и формирование маломощной последовательности с большим стратиграфическим охватом. Конденсированные разрезы широко распространены в осадочных бассейнах различного типа. В стратиграфии конденсированные разрезы являются надежными региональными корреляционными реперами.

Конденсированные разрезы – это аномально маломощные, номинально полные разрезы, то есть содержащие все (или почти все) подразделения глобальной стратиграфической шкалы соответствующего ранга, охватывающие значительные стратиграфические интервалы (несколько биостратиграфических зон, подъярус, ярус), сформированные при резком замедлении темпа осадконакопления и прерываемые эпизодами ненакопления, эрозии или иными синседиментационными и раннедиагенетическими перерывами [Барабошкин, 2009]. Несмотря на малую мощность в конденсированных разрезах не происходит или почти не происходит перемешивания разновозрастных отложений, то есть сохраняется первичная стратификация разрезов. Очевидно, что при таком определении термин “горизонт конденсации”, также часто встречающийся в литературе и прочно вошедший в геологическую терминологию, не является синонимом понятия “конденсированные разрезы” как слой, содержащий переотложенный (“смешанный”) комплекс органических остатков.

Средняя скорость седиментации для конденсированных разрезов составляет 0,5-1 см/ тыс. лет. Разумеется, что эти скорости в известной степени условны, так как они суммируются из эпизодов полного ненакопления, эрозии и эпизодов относительно быстрой седиментации, часто превышающей 1 см/ тыс. лет.

Конденсированные разрезы можно подразделить на следующие типы [Барабошкин, 2009]:

1. Мелководные (неритовое мелководье и прибрежные части бассейнов, а также возникающие при пелагиализации мелководья). Характерно присутствие глауконита, горизонтов микроконкреций, многочисленных поверхностей твердого дна. Данный тип конденсированных разрезов формировался в условиях сокращенной поставки (дефицита) осадков (как кластических, так и карбонатных), под воздействием волнения, приливно-отливных течений и биологической активности.
2. Гемипелагические и пелагические мелководные (эпиконтинентальные бассейны; неглубокие подводные поднятия без привноса терригенного материала, шельфы, подверженные воздействию океанических течений). Конденсация происходила вследствие деятельности волнения и придонных течений, вымывавших тонкий

осадок, а также подводного растворения, цементации, биоэрозии и инкрустации, сопровождавшихся осаждением гидроксидов железа и марганца.

3. Гемипелагические конденсированные разрезы образуются на транзитных склонах глубоководных бассейнов, в тех местах, где осадки сравнительно быстро транспортируются к континентальному подножию.
4. Пелагические глубоководные (абиссаль, глубоководные возвышенности). Их возникновение часто связано с удаленностью от источников сноса и крайне низкой скоростью седиментации.

Основные механизмы образования конденсированных разрезов представляются следующими [Барабошкин, 2009]:

1. Механическая конденсация: эрозия, вынос тонкообломочного материала, концентрация и перераспределение грубообломочного материала в условиях активной гидродинамики; механическое осаждение фоновых или планктоногенных осадков в условиях вялой гидродинамики или в неподвижной воде; уплотнение осадка. В качестве ведущего процесса конденсации рассматриваются течения, действующие на любых глубинах и волнение.

2. Химическая и биохимическая конденсация: растворение и минеральное замещение; образование аутигенных минералов, типичных для конденсированных разрезов (глауконит, фосфориты, железомарганцевые корки и конкреции). Особенно важную роль она играет в океанах, где происходит растворение карбонатов ниже уровня карбонатной компенсации.

3. Биотическая конденсация: поедание, биотурбирование, биоэрозия, инкрустация; биотическое перераспределение и уплотнение осадка. Этот механизм конденсации наиболее масштабно проявляется на мелководье.

4. Ненакопление – осадок на дно не поступает. Причины ненакопления могут быть различны (перенос осадка в суспензии, растворение осадочных частиц, поедание органического детрита еще в столбе воды); оно имеет место при всех вышеупомянутых процессах и является результатом одного или нескольких из них.

Причины образования конденсированных разрезов очень разнообразны. Они могут быть связаны с глобальными перемещениями уровня моря (быстрым повышением уровня моря, медленным повышением уровня моря и/или его малоамплитудными колебаниями, снижением уровня моря), а также климатическими перестройками (глобальным потеплением или глобальным похолоданием). В разных ситуациях осадочная система реагирует на эти процессы по-разному, поэтому наиболее активное развитие конденсированных разрезов

приходится то на мелководные области, то, наоборот, на глубоководные. Очевидно, что дополнительным фактором возникновения конденсированных разрезов является эволюция биоты, и в первую очередь планктона. По этой причине конденсированные разрезы, возникающие на разных этапах развития Земли, достаточно сильно различаются. В самой общей схеме развитие конденсированных разрезов на мелководье контролируется темпом привноса обломочного материала (особенно в высоких и средних широтах) и/или скоростью неритического карбонатакопления (низкие широты). В глубоководных областях образование конденсированных разрезов связано почти исключительно со скоростью биогенной (планктоногенной) седиментации, которая зависит от поступления питательных веществ (элементов-биофилов) и климатического состояния Земли.

Примеров конденсированных разрезов очень много. Одним из них является разрез нижнемеловых органогенных известняков на южном склоне г. Белая (восточная часть Бахчисарайского района Крыма). Здесь в породах мощностью всего около 2 м сконденсировано порядка 9 зон всего верхнего готерива, нижнего баррема и низов верхнего баррема, причем некоторые зоны сконденсированы полностью, не имеют собственного физического объема и устанавливаются лишь по находкам видов-индексов.

## **9.2. Литостратиграфический метод.**

Сущность литостратиграфического метода заключается в расчленении и корреляции разрезов на основе комплексного использования данных о вещественном составе пород, их минералогических особенностях, текстурно-структурных признаках, окраски, характере конкреций и т.д. Литологический состав является отражением определенных физико-географических условий. Пока эти условия на данной территории остаются неизменными, остается неизменным и литологический состав формирующихся пород. Слои с одинаковой или близкой минералого-петрографической характеристикой рассматриваются как одновозрастные.

Данный метод наиболее широко распространен. В практике стратиграфических работ при расчленении и корреляции разрезов непосредственно в поле именно с помощью него всегда начинается изучение любого разреза, когда в первую очередь используют явные, бросающиеся в глаза различия в петрографическом составе пород. Более углубленное разностороннее изучение вещественного состава пород способствует дальнейшей детализации схемы расчленения разрезов.

Очень полезным, особенно при расчленении мощных немых в палеонтологическом отношении континентальных толщ оказывается минералогический анализ.

В основу этого метода положено представление о том, что характер обломочных минералов, поступавших в исследуемую область в течение формирования определенных толщ, не оставался постоянным во времени. Изменения в области питания или смена самих областей питания должны были обуславливать индивидуальные особенности отдельных частей этих толщ, сформировавшихся между данными изменениями. В ходе его применения может изучаться распределение по вертикали ассоциаций минералов (главным образом, тяжелая или легкая фракции), количественные соотношения минералов, характер отдельных минералов (например, степень окатанности зерен). При необходимости может определяться нерастворимый остаток и его количественные изменения по разрезу. Минералогический анализ дает хорошие результаты при расчленении разрезов, однако следует иметь в виду, что он может привести к неточностям при корреляции, так как изменения в характере поступающего материала могут наступать неодновременно в разных районах. К недостаткам данного метода можно отнести и явную пространственную ограниченность его применения.

В последние годы в стратиграфии все более используются геохимические особенности пород. Расчленение и корреляция отложений геохимическим методом базируется на различиях в геохимической характеристике слагающих разрез осадочных толщ, обусловленных разными физико-химическими условиями их накопления и диагенеза. Геохимическое изучение обычно начинают с наиболее полных и хорошо изученных опорных разрезов, для которых устанавливаются геохимические характеристики всех стратиграфических подразделений. Эти характеристики являются основой для корреляции других менее изученных разрезов в пределах изучаемой площади. Геохимический метод используется и для широких глобальных корреляций. Так, например, повышенное содержание иридия и других платиноидных металлов, как уже отмечалось ранее, хорошо маркирует границу мела и палеогена во многих районах земного шара.

Литостратиграфический метод является ведущим при определении границ и объема местных стратиграфических подразделений, используемых в качестве основных картировочных единиц при средне-крупномасштабной геологической съемке. Он позволяет сопоставить разрезы, расположенные в пределах одного бассейна осадконакопления, где строение толщ выдержано на больших площадях, где при хорошей обнаженности удастся шаг за шагом проследить слои на довольно значительное расстояние. Корреляция разрезов при этом значительно упрощается, если оказывается возможным использование маркирующих горизонтов. За пределами этих площадей разновозрастные слои могут по разным причинам испытывать очень значительные изменения состава, вследствие чего границы литостратиграфических подразделений часто оказываются диахронными. Поэтому попытки использования данного метода для решения широких стратиграфических задач

регионального и глобального масштаба могут привести к ошибкам или становятся невозможными. Классическим примером подобной переоценки возможностей литостратиграфического метода стала ошибка, допущенная известным русским геологом И.В. Мушкетовым, кстати говоря, автором “Краткого курса петрографии”. Основываясь только на большом внешнем сходстве литологического состава, он сопоставил массивные известняки Гиссарского хребта с известняками нижнего карбона Южного Урала, которые хорошо знал. Позднее же выяснилось, что известняки Гиссарского хребта являются верхнеюрскими.

С помощью литостратиграфического метода устанавливаются морфолитостратиграфические подразделения. Это совокупности горных пород, объединяемые по литологическим или по фациально-морфологическим особенностям, позволяющим устанавливать положение этих подразделений в разрезе и на площади распространения. Морфолитостратиграфические подразделения используются в качестве вспомогательных по отношению к местным стратонам и включают органогенные массивы, олистостромы, клиноформы и стратогены.

Органогенные массивы – сложные, длительно развивающиеся крупные (сотни метров) ископаемые органогенные постройки: рифы, биогермные и биостромные массивы. Они имеют изометрично-выпуклую или линзовидную форму, слагаются массивными карбонатными породами без седиментационной слоистости, залегают среди стратифицированных отложений в виде изолированных дискретных тел или группируются на площади в протяженные гряды, цепочки и полосы. Мощность массивов может значительно превышать мощность смежных одновозрастных стратифицированных отложений. К органогенным массивам относят и рифоиды. Это массивы, которые по ряду показателей и, прежде всего отсутствию гребня-волнолома и подчиненному значению каркасообразующих организмов, отличаются от “настоящих” рифов. Спецификой рифоидов являются их значительные размеры по площади и очень пологие склоны, что определяет их резко уплощенную форму.

Крупные органогенные массивы картируются как самостоятельные стратоны. Органогенным массивам и их группам, а также протяженным биостромам, образующим практически непрерывные маркирующие горизонты присваиваются географические названия.

Олистостромы это 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.

Олистостромы образуются в результате преимущественно обвально-оползневых (гравитационных) процессов, причиной которых могут быть как вертикальные, так и горизонтальные тектонические движения. Обвально-оползневые процессы могут возникать и при подмыве крутых берегов рек и морей. Для них характерны пластообразная или линзовидная форма и резкие границы как в подошве и кровле, так и по латерали.

Олистостромы различаются по морфологии и генезису, что отражается на их внутреннем строении и взаимоотношении с вмещающими породами. Различаются следующие виды подводных и надводных олистостром: обломочно-потоковые, оползневые и обвальные. Объем матрикса по отношению к общему объему олистолитов уменьшается от обломочно-потоковых к обвальным олистоstromам. Последние могут состоять из одних олистолитов.

Обломочно-потоковые олистостромы являются образованиями автокластических пластообразных потоков, в которых олистолиты погружены в слабостратифицированной или нестратифицированной массе матрикса.

Оползневые олистостромы, образующиеся в результате оползания блоков и пластин полуконсолидированных осадков.

Обвальные олистостромы включают подводный коллювий и наземные конуса выноса.

В зависимости от “родственных связей” олистолитов с составом матрикса выделяют эндо- и аллоолистостромы. В первых материал включений имеет местное происхождение; состав и возраст олистолитов близок или идентичен составу и возрасту матрикса. В аллоолистоstromах кластический материал резко отличается по составу и возрасту от вмещающих отложений. Гравитационные олистостромы следует отличать от тектоно-гравитационных микститов (меланжа), образование которых обусловлено тектоническими процессами, обычно связанными с горизонтальными движениями блоков земной коры. Олистостромы входят в объем местных стратонов или, если они могут быть изображены на геологической карте, выделяются в качестве самостоятельных стратиграфических объектов. Возраст олистоstrom определяется по палеонтологической характеристике и (или) по изотопным данным матрикса с учетом возраста олистолитов и вмещающих олистоstromу отложений. Наименование олистоstromы, представленной самостоятельным подразделением, образуется от названия географического объекта, на территории или вблизи которого находится типичный разрез олистоstromы.

Клиноформа это клиновидная (линзовидная) в разрезе толща с отчетливыми первичными наклонами слоев, сложенная терригенными породами и формирующаяся в склоновой части палеобассейна седиментации за один цикл колебаний относительного уровня моря. Клиноформы при боковом наращивании последовательно сменяют друг друга,

омолаживаясь от областей питания к центру бассейна. 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 слоев достигают  $5^\circ$ . Клиноформы имеют географические названия.

Стратогеном называют совокупность четвертичных (возможно и неогеновых) отложений, обособленных в разрезе по принадлежности к определенному генетическому типу (аллювиальному, ледниковому, эоловому и др.) или по сочетанию нескольких типов и занимающих определенное стратиграфическое положение. Временные границы стратогенов (погребенных почв, лессов, морен и т.п.), существенно диахронны, особенно в меридиональном направлении. Но в сходной обстановке (в широтном направлении) они могут быть изохронными на протяжении многих сотен и тысяч километров. Выделение стратогенов далеко не идентично выделению генетических типов отложений – подразделений чисто генетической, а не стратиграфической классификации. Так, в стратогены могут объединяться разные генетические типы. Например, стратогеном будут все осадки погребенной речной террасы, хотя кроме аллювия в ее разрезе могут быть делювиальные шлейфы, овражные конусы выноса, линзы озерных осадков, эоловые образования и т.д. При этом важно одно: чтобы залегающие друг на друге или сменяющие друг друга в пространстве стратогены отличались не только генетически, но и по возрасту. А если возрастная граница может быть проведена внутри генетически единой толщи, например, в разрезе вскрыты две лежащие друг на друге погребенные террасы, то эту толщу также следует разделить на два стратогена. При выделении стратогенов надо иметь в виду, что большинство генетических типов при переходе из одного палеоклиматического пояса в другой меняют свой фациальный облик, приобретая или теряя какие-то поясные особенности. Например, аллювий рек гумидного пояса отличен от аллювия аридного пояса, а аллювий межледниковой стадии цикла совсем не похож на аллювий ледниковой стадии. Не меньше различий также внутри склоновых элювиальных и озерных отложений разных климатических поясов.

Наименование стратогена образуется из названия генетического типа отложений и названия включающего его местного или климатостратиграфического подразделения или геоморфологической единицы (например, петровский аллювий, аллювий второй надпойменной террасы).

### 9.3. Циклостратиграфический метод.

К циклостратиграфии относится расчленение и корреляция осадочных толщ, основанные на использовании цикличности - чередования в разрезах сходных явлений или признаков.

Цикличное строение осадочных толщ издавна используется для их расчленения и корреляции. Основой применения цикличности для расчленения осадочных толщ служит четкость границ циклично построенных толщ, выражающаяся в зависимости от масштабов проявления цикличности в наличии региональных перерывов, фаз складчатости и магматизма, резкой смене вещественного состава, смене трансгрессивной или регрессивной направленности процессов седиментации. Частным случаем проявления цикличности можно считать ритмичное строение отложений, которое отражает равномерную одинаковую повторяемость определенных явлений.

Уже давно замечено, что в разрезах осадочных толщ слои разных пород часто группируются в закономерные последовательности, каждая из которых отвечает циклу осадконакопления. Примеры наиболее мелкой ритмичности дают ленточные отложения приледниковых озер, которые сложены частым чередованием маломощных опесчаненных и тонкоотмученных слоев глины. Два таких слоя образуют годичный цикл, отвечающий весенне-летнему обильному привносу материала и медленному осаждению в зимнее время. Эти годичные ленточные циклиты (по-шведски – “варвы”) были открыты в 1940 г. в четвертичных отложениях. Стратиграфическая шкала, построенная по данным их изучения, охватила период в 17 тысяч лет и была частично подтверждена данными радиоуглеродного метода.

Впоследствии оказалось, что похожие отложения встречаются и в более древних толщах и образуются не только в приледниковых бассейнах. В частности они характерны для солеродных водоемов, в которых образуются хемогенные осадки, накапливающиеся в тесной связи с сезонными изменениями температуры. Так, ленточная слоистость была установлена в пермских ангидритах Северной Германии. Здесь в обширном, площадью около 100 тыс. км<sup>2</sup> бассейне в весенне-летний период происходило осаждение ангидрита, а в осенне-зимний – накопление тонких прослоев битуминозного (за счет отмирания планктона) известняка. В разрезах данного региона фиксируется от 900 до 1200 пар слоев, причем 800 из них прослежены на всей территории палеобассейна.

Для вещественного выражения цикличности предложены многочисленные термины, из которых широко используется термин “циклит”. Циклитом называют парагенез слоев, связанных более тесно друг с другом, чем со смежными парагенезами, от которых он

отделяется границами большей резкости. Обычно циклиты имеют определенную ранговость. Иерархическая система циклитов может вводиться указанием порядков (I, II, III и т.д.), нумерацию которых удобнее всего вести от наименьших единиц (элементарных циклитов) к более крупным. Для этой же цели могут применяться приставки: микро-, мезо-, макро-, мега-, магнациклиты (и др.). Возможность выявления тех или иных порядков цикличности в значительной степени зависит от положения изучаемых разрезов. Наиболее четко все порядки цикличности устанавливаются в прибрежной и мелководной зонах седиментационных бассейнов, что определяет ведущую роль циклостратиграфического метода именно в этих областях. В пределах континентального склона и батинальной области устанавливается обычно лишь крупная цикличность (III порядка и выше).

Циклиты I порядка (микроциклиты) представляют собой наименьшие, элементарные, подразделения, которые могут быть определены как однократное, не повторяющееся по направленности изменений сочетание слоев нескольких типов пород. По строению они могут быть симметричными или асимметричными, по соотношению фаций – регрессивными, трансгрессивными и однородными. Регрессивными являются циклиты, у которых верхняя часть формировалась в условиях, более близких к континентальным, чем нижняя, у трансгрессивных – наоборот. Однородными называются циклиты, образование которых происходило в пределах одной фации. Мощность элементарных циклитов составляет десятки сантиметров – первые метры, в угленосных толщах – 3–17 м, но может достигать и первых десятков метров. Элементарные циклиты могут служить в ряде случаев хорошими маркирующими горизонтами. В частности, по неповторимости деталей состава и последовательности слоев отдельные горизонты бентонитов могут быть индивидуализированы и прослежены на сотни километров через ряд фациальных зон. На десятки километров прослеживаются аномальные по мощности элементарные ритмы во флишевых отложениях.

Циклиты II порядка (мезоциклиты) состоят из набора микроциклитов или нескольких пачек сравнительно однородных пород с определенной направленностью их изменений. Выявление мезоциклитов имеет большое значение для крупномасштабного картирования. В местной схеме они в полном объеме выделяются в виде подсвит или слоев с географическим названием.

Циклиты III порядка (макроциклиты) образованы рядом мезоциклитов или набором относительно однородных по внутренней структуре толщ общей мощностью от первых сотен метров до километра. Местные стратиграфические подразделения в них выделяются в ранге свит или подсвит.

Циклиты IV (мегациклиты) и V (магнациклиты) порядков обычно учитываются для целей реконструкции закономерностей геологического развития территорий.

Применяемая методика стратиграфической корреляции осадочных толщ по цикличности в значительной степени зависит от типа отложений, положения их в схеме фациальной зональности палеобассейнов и разработана с различной полнотой для разных типов толщ. Наиболее эффективно в качестве ведущего метода для расчленения и корреляции флишевых толщ, ленточных глин и соленосных отложений применяется анализ пространственного распределения различных порядков цикличности. Общими положениями для корреляции всех мелкоритмичных толщ, сложенных сравнительно ограниченным набором повторяющихся в разрезе разновидностей пород, являются петрографическая типизация отложений с учетом всех текстурных особенностей, статистический анализ состава и мощностей элементов ритмов и степени их асимметрии.

Метод циклического анализа нашел широкое применение при изучении флиша, мощные толщи которого очень широко развиты в складчатых областях (Рис. 9).



**Рис. 9. Ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов в терригенном флише верхнего триаса-нижней юры (Юго-Западный Крым).**

Сейчас хорошо известно, что флиш является результатом седиментации, осуществляющейся спазматическими, часто катастрофическими мутьевыми (турбидными) течениями, а также крупными подводными оползаниями и обвалами. Эти процессы эффективны при наличии достаточных масс рыхлых осадочных отложений в неустойчивом состоянии и значительной глубине (сотни метров и первые километры) близко расположенной области их финального накопления. Процесс переноса материала с шельфа на подножье во много раз интенсифицируется в каньонах, прорезывающих континентальные склоны. Силами гравитации рыхлые отложения автокинетически ускоряются здесь до 100 км/час и больше, наподобие снежных лавин в горах.

Мутьевые течения проходят расстояние до первых тысяч километров, по пути они расслаиваются и снижаются, а также замедляются. Осаждающийся материал создает серии сортированных осадков с постепенно уменьшающимся размером зерен от подошвы к кровле турбидита, то есть с градационной слоистостью – самым характерным признаком флиша. Основу потока составляет глинистая суспензия, изменяющаяся по плотности и нагруженности песчаным или щебнистым материалом. Нижняя, наиболее насыщенная обломками часть потока перемещается вблизи дна, иногда даже не касаясь его, о чем свидетельствует ровная, без признаков выпахивания граница с подстилающим тончайшим пелитовым осадком. Но чаще всего грязекаменный поток эродировывает дно и в верхней части конуса выноса образует глубокую каньонообразную долину. Когда суспензия ее переполняет, она выходит “из берегов” и создает высокие прирусловые валы протяженностью в сотни километров. Основная же часть грубообломочного материала выливается в виде веера на поверхности конуса выноса на выходе из каньона. Протяженность этих илито-щебнистых потоков может достигать сотен километров. Они формируют проксимальную (приближенную к устью каньона) фацию конуса выноса. Более тонкая и легкая песчано-илистая часть общего потока реализуется в виде циклита (пески, алевриты, глинистые илы) и формирует как среднюю, самую обширную фацию конуса, так и краевую (дистальную) фацию. Если в циклите преобладает зернистый элемент, флиш называется песчаным, в ином случае – глинистым. В самой верхней части циклита обычно залегает совершенно иной генетический тип – фоновые, постоянно накапливающиеся планктоногенные (карбонатные или кремнистые) осадки. Чаще всего флишевый циклит имеет толщину 10-50 см, из которых 90-100 % составляет турбидит, а 0-10% - фоновый элемент.

Расчленять мощные флишевые толщи, в которых бесконечно повторяются многие тысячи маломощных слоев немногочисленных литогенетических типов затруднительно. В 1948 г. Н.Б. Вассоевичем был предложен простой и очень эффективный метод графического

показа флишевых толщ в виде ритмограмм. Их построение сводится к выделению в разрезе циклитов и затем к изображению каждого циклита со всеми его компонентами в виде горизонтального отрезка. Соединение отрезками прямой значений мощностей отдельных компонентов циклита позволяет получить наглядные графики (Рис. 10). Ритмограммы помогают более объективно выделять пачки, характеризующиеся определенным типом ритмичности, дают наглядное представление о динамике изменений мощности циклитов и соотношении отдельных компонентов внутри них, а также выявлять цикличность более высокого порядка. Путем сопоставления ритмограмм проводится корреляция разрезов. Особое значение при этом имеет прослеживание маркирующих, обладающих хорошей выдержанностью слоев. Важно отметить, что Н.Б. Вассоевич доказал выдержанность в пространстве большинства слоев флиша и показал исключительное значение метода сопоставления ритмограмм для разработки сверхдетальных стратиграфических шкал флишевых отложений в небольших районах.

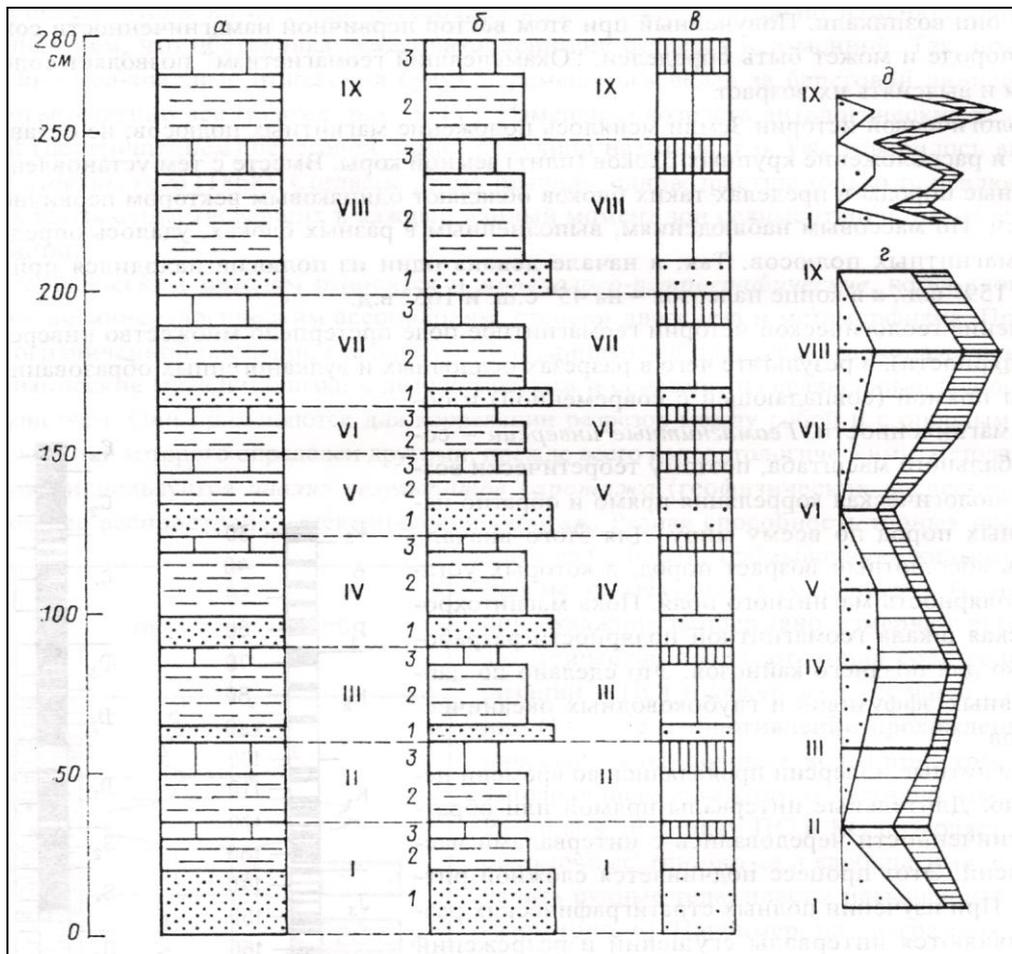


Рис. 10. Построение ритмограммы (по Е.В.Владимирской и др., 1985).

а - послойный разрез; б - разрез разделен на ритмы (I-IX), выделены элементы (1, 2, 3) ритмов; в - элементы ритмов заменены условными знаками (произвольно); г - ритмограмма: колонки ритмов заменены отрезками горизонтальных линий (расположены друг от друга на равных расстояниях), границы элементов ритмов соединены прямыми линиями; д - ритмограмма того же разреза в более компактном и удобном виде: уменьшен вертикальный масштаб и убраны отрезки линий, обозначающих колонки ритмов (вертикальный масштаб ритмограмм выбирается исполнителями).

Вторую группу осадочных толщ, для которых цикличность является основным методом расчленения и корреляции, составляют мощные угленосные отложения, подчас с трудом поддающихся детальному биостратиграфическому расчленению. При сопоставлении разрезов угленосных толщ наиболее устойчивым коррелятивным признаком является направленность изменений фаций в циклитах. Сопоставление проводится от наиболее крупных единиц к более мелким с первоочередным учетом маркирующих циклитов. Так как в чередовании пород угленосных толщ, накопившихся в прибрежно-морских условиях выявляется определенная повторяемость, их возможно разбить на ряд комплексов, включающих угольные пласты. Эти комплексы сложены в нижней, подугольной, части континентальными отложениями, а в верхней, надугольной - морскими. Примером может служить расчленение разреза каменноугольных отложений Донбасса, мощность которых местами превышает 10-15 км. Среди монотонной толщи чередующихся песчаников и аргиллитов с пластами углей здесь встречаются прослои известняков. С использованием выявленной здесь цикличности вся мощная толща была подразделена на 15 свит, которые затем были прослежены и закартированы на всей территории Донбасса.

Монотонные карбонатные, сульфатно-карбонатные, кремнисто-сланцевые толщи, в которых заметных закономерностей повторения сходных литологических разновидностей при полевых исследованиях не обнаруживается, также могут расчленяться и сопоставляться при выявлении в них скрытой периодичности. Она может быть установлена по особенностям геохимического распределения элементов и соотношению породообразующих минералов.

Методика этой процедуры состоит в выделении микроциклитов, то есть элементарных циклитов 1-го порядка, и группировки их в циклиты более высоких порядков. Корреляция разрезов, расчлененных подобным образом – задача более сложная, так как циклиты часто не обладают хорошо выраженными индивидуальными чертами. Это затрудняет их идентификацию в сравниваемых разрезах. Добиться этого можно лишь путем максимально возможной индивидуализации циклитов при их выделении. При этом принимается во внимание количество элементарных циклитов в циклитах более высоких порядков, их полнота, трансгрессивность или регрессивность, мощность, как самих циклитов, так и составляющих их разновидностей пород, фациальная обстановка, в которой формировались циклиты и многое другое. Особое внимание обращается на характерные маркирующие горизонты. Индивидуализированные таким образом циклиты становятся узнаваемыми, что делает возможным выделение их в разных разрезах. При этом часто оказывается достаточным точно сопоставить два циклита. Сопоставление же остальных может проводиться простым отсчетом от них вниз и вверх по разрезу. Сопоставление циклитов

разных разрезов проводится обычно от наиболее крупных из них к наиболее мелким. Чем крупнее циклит, тем на большее расстояние сохраняется его корреляционное значение.

Природа цикличности находится в тесной связи с длительностью образования и мощностью циклитов. В отношении ленточных глин все ученые единогласны в том, что их образование обусловлено периодическими изменениями условий седиментации (сезонными колебаниями состава сносимого в бассейн материала). Формирование флишевых толщ связано с мутьевыми потоками. Более крупные трансгрессивно-регрессивные циклы естественно связывать с влиянием тектонических движений регионального масштаба или с эвстатическими изменениями уровня мирового океана. Некоторые исследователи считают, что цикличность отложений генерировалась посредством глобальных механизмов (в частности, намечаются земные орбитальные циклы с различными периодами, например, 21000, 41000, 100000 лет). В зависимости от причин длительность циклов колеблется в очень широких пределах – от нескольких месяцев до десятков и сотен миллионов лет. Соответственно, мощность циклитов, то есть отложений, отвечающих одному циклу, может измеряться от долей сантиметра до первых километров.

Важная роль цикличности для корреляции определяется относительной синхронностью циклитов на больших площадях, что в свою очередь обусловлено региональной, иногда даже планетарной, природой этого явления, связанной с изменениями климата, эвстатическими колебаниями уровня моря, тектоническими колебательными движениями и проявлением фаз складчатости.

#### **9.4. Секвенс-стратиграфический метод.**

Как уже отмечалось, несогласия издавна использовались для установления границ стратиграфических подразделений, в особенности местных. Американский геолог Х. Уиллер в 1959 г. предложил считать слоистые геологические тела, ограниченные несогласиями, особым видом стратиграфических подразделений. Соответствующее направление стратиграфических исследований получило название секвенс-стратиграфического метода или секвентной стратиграфии. Это метод стратиграфических исследований, в ходе которых более полно раскрывается геологическая история района с учетом палеогеографических условий осадконакопления и последующих тектонических процессов. Современная концепция, методика и терминология секвентной стратиграфии разработана американскими геологами-нефтяниками в 70-е годы XX в. в практике сеймостратиграфических работ, но в отличие от последних секвенная стратиграфия, помимо сейсмического, использует весь арсенал методов изучения осадочных пород. 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. Подразделения секвентной стратиграфии и сейсмостратиграфические единицы часто не совпадают в разрезе. Секвентная стратиграфия может с успехом применяться при комплексировании сейсморазведки отраженных волн с данными бурения и поверхностными геологическими исследованиями.

Терминология и иерархия подразделений секвентной стратиграфии еще не устоялась. Основной секвенс-стратиграфической единицей является секвенс. Это согласная последовательность генетически связанных слоев, образованная за один цикл колебаний относительного уровня моря и ограниченная несогласиями. Секвенсы обычно являются региональными единицами, охватывающими весь бассейн седиментации, но наиболее отчетливо проявляющимися в краевых частях бассейнов.

Секвенс образуется в результате заполнения осадками пространства, в котором возможна осадочная аккумуляция. Периодическое изменение этого пространства является откликом на колебания относительного уровня моря. Последние обусловлены тремя главными факторами: эвстазией, прогибанием дна бассейна и поступлением осадочного материала. Роль каждого из этих факторов в конкретном районе может быть различной. Значительная роль в образовании секвенсных подразделений отводится колебаниям уровня моря. Для фанерозоя выделяются циклы колебаний уровня моря пяти порядков продолжительностью от сотен миллионов до десятков тысяч лет. Образование секвенсов связано с циклами третьего и значительно реже четвертого порядка. Более крупные циклы представлены группами секвенсов (суперсеквенсов и мегасеквенсов), а самые мелкие (четвертого и пятого порядка) выделяются в качестве элементов секвенсов – парасеквенсов. Обычно при секвенс-стратиграфических исследованиях наибольшее значение имеют циклы третьего (1-5 млн. лет) и второго (10-80 млн. лет) порядка.

Парасеквенс – это мелеющая вверх последовательность слоев, ограниченная поверхностями морского затопления – уровнем наибольшей мористости осадков. Пакет парасеквенсов – последовательность парасеквенсов по вертикали. Выделяются три типа таких последовательностей: проградационный (регрессивный), ретроградационный (трансгрессивный), характеризующие соответственно наступление и отступление береговой линии, и аградационный с относительно стабильным положением ландшафтных обстановок.

Секвенсы состоят из трех главных частей, или трактов, которые представляют собой латеральные фациальные ряды, образовавшиеся в различных условиях седиментации. Это – тракт низкого стояния уровня моря, трансгрессивный тракт и тракт высокого стояния моря.

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. Существенная роль в корреляции секвенсов принадлежит биостратиграфическому методу. Анализ комплексов ископаемых остатков организмов, помимо определения возраста слоев и их стратиграфического положения, особенно важную роль приобретает в уточнении секвенс-стратиграфических построений в отложениях мелководного шельфа и глубоководных частей бассейна, где границы секвенсов и геометрия слоев не столь очевидны, как в присклоновых осадках.

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

Седиментационные комплексы секвентной стратиграфии, созданные эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана, могут служить реперным каркасом для глобальной корреляции осадочных бассейнов.

Расчленение континентальных толщ с позиций секвентной стратиграфии возможно только при непосредственном их сопряжении с одновозрастными морскими образованиями.

Мировой опыт показал высокую эффективность применения секвентной стратиграфии. Она позволяет прогнозировать распределение коллекторов, покрышек и очагов генерации углеводородов на региональном уровне, а также устанавливать внутреннюю структуру резервуаров на локальном уровне. Высокие прогностические возможности при поиске месторождений нефти и газа обусловили повышенный интерес и широкое внедрение этого метода в практику геологоразведочных работ.

## **9.5. Климатостратиграфический метод.**

Климатостратиграфический метод предполагает расчленение и корреляцию разрезов, в основу которых положено установление направленности и амплитуды климатических изменений, запечатленных в литологических, фациальных, геохимических особенностях пород, а также во флористических и фаунистических сообществах. Фактически климатостратиграфия – это системный подход, предполагающий использование комплекса

разных методов – литостратиграфического, биостратиграфического и других. Каждый из этих методов сам в какой-то мере может свидетельствовать о температурном режиме и увлажненности в момент формирования осадков. Но достоверные суждения можно получить лишь при условии совокупного рассмотрения данных разных методов.

Естественно, что возможности климатостратиграфии ограничены интервалами геологической истории, для которых был характерен неустойчивый и быстро изменчивый во времени климатический режим.

Хотя климатические изменения происходили на Земле всегда, для докайнозойского времени получить достаточно полную и надежную количественную информацию об этом чрезвычайно трудно. Поэтому для позднего докембрия и почти всего фанерозоя данные об изменениях климата с успехом используются обычно лишь для палеогеографических реконструкций, реже для корреляции отдельных стратиграфических уровней. Относительно надежны сведения о климате палеогенового и неогенового периодов, что позволяет значительно шире, чем для более ранних отрезков истории Земли, привлекать их для целей корреляции. Что же касается четвертичных отложений, то здесь климатостратиграфический критерий давно уже признан одним из основных при геологическом картировании как континентальных, так и морских осадочных толщ.

Исходным в климатостратиграфии является понятие о климатическом ритме – закономерной последовательности нескольких периодически повторяющихся во времени стадий климатического режима. Каждая из них характеризуется определенным, свойственным только ей соотношением теплообеспеченности и увлажненности. Климатическому ритму в разрезах отвечает климатоседиментационный цикл. Фиксирование его всеми возможными способами и является основой для расчленения и корреляции разрезов в климатостратиграфии.

Одна из важнейших особенностей климатической ритмичности (и, соответственно, климатоседиментационной цикличности) – ее многомасштабность, указывающая на тесную зависимость изменения климата от воздействия периодических внешних факторов, таких, например, как колебания орбитальных параметров движения Земли, колебания солнечной активности и др. Диапазон амплитуд климатических колебаний, фиксируемых в разрезах, огромен – от годичной пары слоев до ритмов длительностью 200-300 млн. лет. Однако объектом климатостратиграфии являются лишь циклы среднего интервала длительностью от 1 тыс. лет до 1-2 млн. лет, то есть циклы, представляющие интерес с точки зрения стратиграфического расчленения и корреляции внутри яруса.

Климатостратиграфические реконструкции в первую очередь основываются на фациальном и вещественном (петрографическом, минералогическом) анализе осадочных

отложений. Одним из критериев детализации климатостратиграфического расчленения является химический состав отложений, особенно в горизонтах гипергенного преобразования (коры выветривания, почвы). Определенное значение могут иметь текстурные и инженерно-геологические особенности осадочных толщ. Так, замечено, что однородные отложения одинакового генезиса обладают большей плотностью в холодных условиях седиментации и меньшей в теплых. Для расчленения лессов и морен, полезны такие показатели, как пластичность и влагоемкость.

В рамках климатостратиграфии также активно используют данные об ископаемых организмах – стенотермном бентосе, планктоне, наземных млекопитающих и, конечно, наземной флоре, которая наиболее чутко реагирует на климатические изменения. Органический мир прошлого (в том числе и растения) мог приспосабливаться к медленно меняющимся климатическим условиям, вырабатывая определенные морфологические свойства. Однако если при климатостратиграфических исследованиях оперировать не отдельно взятыми видами, родами или даже семействами, а анализировать данные о широтной миграции границ целых палеобиоценозов, то можно получить ценную информацию для детального расчленения. Пространственная амплитуда таких миграций, носящих периодический характер, разномасштабна и колеблется от десятков километров до 1-2 тысяч километров. Она четко отражает масштабы и длительность периодических климатических колебаний, измеряющихся от сотен лет до миллионов лет. Очень хорошую основу для расчленения и межрегиональной корреляции дает анализ смены доминантов в биоценозах, который основан на статистическом изучении количественных соотношений видов и родов. По ним выделяются стратиграфические интервалы с определенным устойчивым сочетанием видов и родов. Этот способ особенно широко используется при изучении спор и пыльцы. Последовательность разных ассоциаций по разрезу интерпретируется как смена доминантов, происходившая путем экологического замещения видов под влиянием изменяющегося климата.

В последнее время в климатостратиграфии усиленно развиваются методы количественной термометрии, к которым относятся изотопно-кислородный метод, кальциево-магниевый метод, кальциево-стронциевый метод и другие. Эти данные не только корректируют качественные температурные условия, установленные по стенотермным формам, но и позволяют установить температуру в тех частях бассейнов, где стенотермные формы отсутствуют. Все эти методы основаны на зависимости формирования карбоната кальция раковин организмов, а также содержащихся в нем примесей Mg, Sr и других элементов от температуры окружающей воды, ее изотопного состава и солености. Полученные этими методами значения температуры донных или поверхностных вод не

являются абсолютными, так как зависят от ряда факторов, но все же имеют бесспорное значение для расчленения разрезов и межрегиональной корреляции.

В ходе анализа используются остатки белемнитов, нуммулитов, двустворок, брахиопод, фораминифер, кораллов, гастропод, аптихи аммонитов. Возможно также использование карбонатных пород (в частности пещего мела), более чем на 50% сложенных планктонными фораминиферами и кокколитофоридами. Наиболее высокие температуры получены по приповерхностным и литоральным формам, а самые низкие – по прикрепленным и свободнолежащим формам, обитавшим на глубинах более 50 м.

Наиболее точным, но в тоже время и наиболее трудоемким, из-за необходимости использования сложного лабораторного оборудования, является изотопно-кислородный метод. Он основан на том, что в холодных водах отношение содержание тяжелого изотопа  $^{18}\text{O}$  к содержанию легкого изотопа  $^{16}\text{O}$  выше, чем в теплых водах. Определения температур основываются на том допущении, что изотопный состав кислорода древних бассейнов был таким же, как и современных океанов. Это допущение является слабой стороной палеотермометрии, так как известно, что изотопный состав воды современных океанов несколько отличаются от изотопного состава “средней океанической воды” (эти отличия сейчас в максимуме достигают 0,014%, что соответствует температуре 0,6°C).

Разработка этого метода связана с именем Г. Юри. В 1946 г. Г. Юри прочитал в Высшей технической школе Цюриха лекцию об изотопах. Для иллюстрации их разных свойств он сослался на испарение воды из стакана. Три изотопа -  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$  испаряются с разной скоростью. Различия в массе приводят к тому, что пар уносит несколько большее количество самого легкого изотопа  $^{16}\text{O}$ . В конечном результате оставшаяся в стакане вода постепенно обогащается более тяжелыми изотопами. При испарении морской воды происходит ее обеднение легким изотопом и, соответственно, обогащение тяжелым. Легкий изотоп с парами воды переносится в высокие широты, где после выпадения осадков конденсируется в снежных и ледяных покровах. Чем интенсивнее оледенение, тем большим будет соотношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в морской воде. При таянии ледников оно, соответственно, уменьшается. Г. Юри также пришел к выводу о том, что вода океанов должна быть богаче тяжелыми изотопами, чем пресная вода.

Позднее Г. Юри теоретически вычислил, что в карбонате, сформировавшемся в воде с разной температурой, будет разное соотношение изотопов  $^{18}\text{O}$  и  $^{16}\text{O}$ . Если животное откладывает  $\text{CaCO}_3$  в равновесии с водой, в которой оно живет, а после смерти животного его раковина захороняется и остается неизменной до наших дней, то будет достаточно только измерить отношение изотопов  $^{18}\text{O}$  и  $^{16}\text{O}$  в раковине для определения температуры воды, в которой животное обитало. Как отметил сам Г. Юри: “У меня внезапно оказался в

руках геологический термометр”. Чтобы проверить теоретические расчеты стали создавать эмпирическую температурную шкалу. Для этого на Тихоокеанском побережье в Калифорнии были созданы экспериментальные водоемы, в которых раковинные беспозвоночные обитали в воде с разной температурой. В 1951 г., когда была изобретена аппаратура (масс-спектрометры), способная измерять отношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , которое соответствовало бы изменению температуры в  $1^\circ\text{C}$  и менее, Г. Юри с коллегами впервые изучили ископаемый материал. Это был экземпляр белемнита из юры острова Скай, расположенного у западного побережья Шотландии. Изучение показало, что максимальные сезонные изменения температуры воды составили  $6^\circ\text{C}$ .

Существует довольно много причин, ограничивающих применение изотопно-кислородного метода. Как уже было отмечено, к ним относится сложность анализа и дороговизна аппаратуры. Изотопный состав кислорода в кальците может быть значительно изменен после образования раковин или пород вследствие процессов диффузии, перекристаллизации, доломитизации, окремнения, циркуляции обедненных  $^{18}\text{O}$  грунтовых вод, которые могут происходить как при диагенезе, так и позднее. Особенно этим процессам подвержены образования с недостаточно компактной структурой, испытавшие значительное погружение и обладающие большим геологическим возрастом. Не следует также забывать, что вторичные процессы по понятным причинам в первую очередь захватывают поверхность образцов. Это приводит, например, к тому, что рассчитанные значения температуры по кальциту с поверхности ростров белемнитов оказываются выше, чем по кальциту более глубоких участков, а значения температуры, полученные по окремненным участкам ростров, оказываются выше, чем по неизменным участкам. Кроме того, многие животные и растения могут отлагать карбонат кальция без сохранения изотопного равновесия кислорода. Выявить, было такое равновесие или нет в прошлом не всегда возможно. Не известным, как уже было отмечено, остается изотопный состав кислорода древних океанов. Предположение о том, что он был таким же, как и сейчас может быть ошибочным. Содержание в воде изотопов кислорода в высшей степени зависит от ее солёности. В конечном итоге опреснение, связанное с поступлением богатых легким изотопом вод, оказывает на соотношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  такое же влияние, как и повышение температуры. Более того, если опреснение связано с добавлением пресной воды, поступающей за счет таяния льда, то оно сильнее влияет на увеличение содержания  $^{16}\text{O}$ , чем опреснение до того же уровня, но вследствие притока обычных речных вод. Поэтому для отложений замкнутых, опресненных бассейнов изменения отношения  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  должны интерпретироваться не как вариации температуры воды, а как вариации опреснения и осолонения воды. Температуры, полученные по разным организмам, отобранном из одного образца породы, могут быть

существенно различны. Для получения надежных данных надо проводить отдельное определение соотношения  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  по планктонным и донным организмам. Так при изучении верхнеплиоценовой глины из Новой Зеландии по смеси донных фораминифер были получены температуры 7,5-7,8°C, а по планктонным фораминиферам 15,3-15,7°C.

Указанные причины обусловили то, что, исключая единичные образцы палеозойского возраста, определения палеотемператур древних морей были выполнены лишь для юры и более поздних периодов. При этом большая часть палеотемператур была определена по рострам белемнитов, так как именно в них лучше всего сохраняется первичное соотношение изотопов  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .

Кривые колебаний содержания изотопов  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  были построены по керну глубоководных осадков океана. В разрезах донных осадков океана были обнаружены чередующиеся горизонты с большим и меньшим содержанием  $^{18}\text{O}$ . В последние десятилетия на базе совместного использования изотопно-кислородного и магнитостратиграфического методов разработана детальная шкала изотопных “ярусов”, продолжительностью 10-80 тыс. лет. Она особенно успешно применяется для четвертичной системы и верхней части неогена.

Кальциево-магниевый метод определения палеотемператур является наиболее доступным и несложным. Давно известно, что магнизиальность в карбонатных скелетах организмов в нормально-морской среде составляет доли (редко немногие проценты) и заметно увеличивается в более теплом климате. Эта закономерность и легла в основу исследований. Материалом для разработки данного метода отечественными учеными послужила коллекция ростров белемнитов, собранных из всех ярусов верхнего мела на территории Карпат, Крыма, Кавказа, Донбасса, Поволжья, Мангышлака и Устюрта. Кроме того, авторы метода располагали дублетами проб из этой коллекции, по анализу которых были определены палеотемпературы с использованием изотопно-кислородного метода. Таким образом, была получена возможность, сравнить и проверить данные, полученные одновременно кальциево-магниевым и изотопно-кислородным методами. В результате была создана шкала пересчета индексов Ca/Mg отношений на палеотемпературы, полученные с помощью изотопно-кислородного метода.

Метод Ca/Mg отношений можно использовать не только для качественной характеристики, но и для предварительных количественных оценок палеотемператур. Но эти результаты должны обязательно проверяться и градуироваться при помощи выборочных определений с помощью изотопно-кислородного метода и рассматриваться как ориентировочные, прежде всего из-за диагенетических изменений. В кальците раковин, претерпевших более позднюю перекристаллизацию, окремнение и доломитизацию, а также в хемогенных, окремненных и доломитизированных органогенных известняках первичное

отношение Ca/Mg будет нарушено. В частности при перекристаллизации уменьшается количество Mg, а при доломитизации его количество увеличивается.

Хорошие результаты при расчленении и корреляции, особенно четвертичных отложений, можно также получить, используя обусловленные климатом морфологические изменения. Самым характерным можно считать пример, связанный с изменением направления навивания раковины у некоторых планктонных фораминифер. Установлено, что левостороннее закручивание вызывается похолоданием, а правостороннее – потеплением. По-видимому, направление навивания само по себе не имеет никакого приспособительного значения. Скорее всего, это неадаптивный признак, определяемый одним геном или группой генов, контролирующих также реакцию на меняющуюся температуру. Возможность использования изменения навивания раковин обусловлена тем, что оно происходило на огромных пространствах, и было, видимо, изохронным. В качестве иллюстрации сказанного можно привести следующий пример. В настоящее время в восточной части Тихого океана направление закручивания раковин *Globigerina pachyderma* изменяется с левостороннего на правостороннее примерно в районе 60° с.ш. Во время же последней ледниковой эпохи такое изменение наблюдалось южнее 30° с.ш.

С помощью рассматриваемого метода выделяются климатостратиграфические подразделения – совокупности горных пород, признаки которых обусловлены периодическими изменениями климата, зафиксированными в особенностях вещественного состава пород и ассоциаций остатков организмов, с учетом длительности формирования стратонов соответствующего ранга. Климатостратиграфические подразделения используются для четвертичных и неогеновых отложений, но возможно их использование и для более древних образований. Границами климатостратиграфических подразделений являются палеоклиматические рубежи, выраженные в изменении литологического состава отложений, в смене ассоциаций организмов – климатических индикаторов, геохимической среды, седиментационных или диагенетических текстур и т.д. Климатостратиграфические критерии используются в качестве определяющих для выделения наиболее дробных единиц Общей стратиграфической шкалы – раздела, звена и ступени (в последнем случае эти критерии становятся определяющими), а также для выделения региональных климатостратиграфических подразделений. К последним относятся климатолит и стадиал.

Климатолит это совокупность горных пород, сформировавшихся во время одного климатического полуритма интенсивного похолодания или потепления, 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 разреза отложений четвертичной системы.

Два смежных по разрезу климатолита, охватывающие климатический ритм “потепление-похолодание; арид-плювиал”, могут быть выделены как дополнительное подразделение – надгоризонт региональной схемы или климаторитм. В качестве геохронологического эквивалента климатолита употребляются термины “криохрон” и “термохрон”. Климатолит должен иметь стратотип.

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: климатические оптимумы, промежуточные похолодания. В соответствии с характером климатического режима используют термины “криостадиал” и “термостадиал”. Геохронологическим эквивалентом стадиала является стадия. Стадиал должен иметь стратотип.

Главным фактором, ограничивающим применение климатостратиграфического метода, является широтная климатическая зональность. В разных широтах из-за неодинакового соотношения температуры и влажности существуют отличающиеся типы климатоседиментационной цикличности. Так, высокие широты будут характеризоваться чередованием морен и межморенных отложений, умеренные широты – чередованием лессов и почв, средние широты – чередованием солевых и иловых отложений. Зачастую, даже одинаковые генетические типы отложений в разных климатических поясах имеют непохожий облик. Из-за этих отличий границы толщ, выделяемых в меридиональном направлении, могут при корреляции оказаться существенно диахронными.

## **9.6. Экостратиграфический метод.**

Экостратиграфический метод, который базируется на этапах изменения сообществ организмов и абиотических компонентов внешней среды, также используется для расчленения и корреляции осадочных толщ. Он подразумевает определение стратиграфических единиц на основе биологических, экологических и седиментационных характеристик, что обозначается названием “палеоэкосистемный анализ”.

Экостратиграфический метод часто ошибочно считают разновидностью биостратиграфического метода, отличающейся лишь усилением палеоэкологических наблюдений. На самом деле, сущность экостратиграфического метода заключается в том, что стратиграфическими принимаются границы, отражающие уровни перестроек экосистем. Как

бы ни обосновывалась на словах та или иная наблюдаемая в разрезе граница, ее действительное (хотя и не всегда осознанное) обоснование неизбежно будет экосистемным.

В экостратиграфических исследованиях литостратиграфический и биостратиграфический методы объединяются и становятся не независимыми видами стратиграфической работы, а компонентами единого экостратиграфического анализа (заметим, что лучшие образцы стратиграфических исследований имели именно такую экостратиграфическую направленность). Из палеонтологической компоненты здесь анализируются не отдельные таксоны каких-либо групп, а именно сообщества. Данное направление исследований наиболее типично характеризует современное стремление геологов понять жизнь геологического прошлого не просто как историю отдельных таксонов организмов, характеризующих различные уровни стратиграфической шкалы, а в виде системы взаимосвязей, существовавших между эволюционирующими сообществами организмов и меняющимися условиями среды жизни. Только такой подход дает возможность объективного обоснования для выделения стратонов и оценки их ранга.

Основной частью биосферы являются экосистемы. Экосистема это совокупность живых и неживых элементов, в результате взаимодействия которых создается стабильная, саморегулирующаяся система. Ее основными свойствами являются способность осуществлять круговорот веществ, способность противостоять внешним воздействиям, то есть возвращаться в исходное положение после воздействия факторов, выведших ее из равновесия и способность производить биологическую продукцию.

Особенно много для развития экостратиграфического метода сделал Р.Ф. Геккер, который еще в 20-х годах прошлого столетия указал на возможность детальных корреляций разнофациальных отложений по палеоэкологическим признакам.

На основе экостратиграфического метода делаются попытки построить шкалу сменяющихся в стратиграфической последовательности и по латерали стратонов, которые отражают смену состояний палеоэкосистем. Для отдельных горизонтов устанавливаются ряды экологических комплексов форм и осадков, закономерно сменяющих друг друга в интересующем исследователей направлении. Выделяются типы осадков, и выясняется наличие в каждом типе определенного комплекса органических форм, находящегося с ним в неразрывной связи. Затем прослеживается изменение типа осадка и изменение комплекса форм, при котором новый комплекс также находится в тесной связи со своим типом осадка. Восстановление закономерной смены осадков и присущих им ассоциаций в заданном направлении позволяет последовательно сопоставлять быстро изменяющиеся в фациальном отношении отложения. Кроме того, отмечаются и количественные отношения отдельных организмов в комплексах. Иногда виды, играющие в данном экологическом сообществе

второстепенную роль, приобретают одну из главных ролей в соседних фациях, подсказывая облик основных фаунистических и флористических компонентов в соседних комплексах и помогая тем самым проводимому сопоставлению.

Надо отметить, что специальная иерархия подразделений этого типа пока не разработана. На практике, из-за недостаточной разработки их характеристики и признаков выделения они не вошли в широкий обиход геологов, “растворяясь” в единицах общей и региональной шкал или в биостратиграфических зонах.

Основной единицей, устанавливаемой с помощью экостратиграфического метода, могла бы стать экозона. Под экозоной, как уже отмечалось ранее, понимают отложения, содержащие ископаемые, представляющие собой прижизненную экологическую ассоциацию. Границы экозон подчеркивают не столько эволюционное развитие соответствующих групп ископаемых, сколько изменение эколого-фациальных условий. Границы экозон, выделенных по разным группам организмов будут совпадать, если они одинаково реагируют на изменение эколого-фациальных условий. На границах экозон вместе с составом ископаемых меняется и состав горных пород.

В настоящее время с помощью экостратиграфического метода разрабатываются дробные стратиграфические схемы отдельных регионов. При этом иногда удается доказать, что экозоны (например, выделенные в Восточной Австралии по триасовым растениям, или в Западной Сибири по триасово-юрским флорам) являются более дробными, чем традиционные зоны. Создаются корреляционные схемы межрегионального и даже субглобального масштаба. Одно из направлений экостратиграфических исследований – это уточнение границ стратиграфических подразделений на основе выявления экологических перестроек.

Следует признать, что в настоящее время экостратиграфический метод может дать только приближенное представление об экосистемах прошлого. Это связано с тем, что ученым приходится анализировать не живую экосистему, а лишь неполные следы ее существования, которые дают возможность лишь приблизительно судить об особенностях структуры древних сообществ и физико-географических условиях существования организмов.

### **9.7. Тектоностратиграфический метод.**

В разной степени тектонические процессы прямо или косвенно влияют на все стороны геологической жизни нашей планеты, что находит отражение в вещественном составе слагающих разрезы пород, последовательности их напластования, характере ископаемых

остатков и т.д. Поэтому в той или иной форме тектонический аспект присутствует в любых методах стратиграфических исследований.

Тектоностратиграфический метод опирается на изучение явления диастрофизма – тектонических деформаций, которые всегда были объектами геологических исследований. Он занимается изучением взаимоотношений между крупными осадочными и осадочно-вулканогенными комплексами, отвечающими естественным этапам развития бассейна осадконакопления, уделяя при этом особое внимание влиянию тектонических процессов на формирование стратиграфической последовательности.

Основы тектоностратиграфии начали разрабатываться давно. В геологии на протяжении около 150 лет шла полемика между двумя противоположными концепциями развития тектонических движений во времени. Одна из них, восходящая к идеям катастрофистов первой половины XIX века исходила из представления о том, что тектонические движения проявляются в виде кратковременных, но интенсивных импульсов, которые позднее получили название фаз складчатости. Основой этой концепции послужили угловые несогласия, которые интерпретировались как показатель тектонических деформаций, происшедших в течение перерыва осадконакопления. Большую популярность эта концепция приобрела с выходом в свет работ немецкого геолога Г. Штилле, в особенности после опубликования в 1924 г. его книги “Основы сравнительной тектоники”. В этих трудах доказывались тезисы (которые назвали канон орогенических фаз Штилле) об ограниченности числа фаз складчатости в фанерозое (первоначально их было выделено 19), их кратковременности (сотни тысяч лет) и всеобщем распространении. Из этих тезисов следовало, что фазы складчатости разделены очень длительными периодами тектонического покоя.

Между тем, еще начиная с работ Ч. Лайеля, в геологии развивалось другое – эволюционное представление о непрерывности тектонических деформаций, их постепенном нарастании и спаде. В 30-40-х годах XX века в связи с успехами детального геологического картирования и изучения структуры угле- и нефтеносных бассейнов эта концепция стала быстро развиваться. В ходе этих исследований было установлено большое число угловых несогласий, не предусмотренных канон Штилле. Было выявлено возрастное скольжение одной и той же фазы складчатости в пределах одной складчатой системы и большая продолжительность фаз складчатости, сопоставимая с длительностью накопления ярусов (несколько миллионов лет). Кроме того, опыт составления тектонической карты мира подтвердил невозможность всесветного выделения соответствующих фазам складчатости поверхностей несогласия. Они могут считаться глобальными в том смысле, что проявлены на

разных континентах, но не в том смысле, что на континентах они обнаруживаются повсеместно.

Таким образом, применение тектоностратиграфического метода основано на том, что в истории Земли процессы осадконакопления периодически сменялись складчатостью и горообразованием. Возникшие горные области разрушались, и на выровненную территорию вновь наступало море, на дне которого уже несогласно накапливались толщи новых осадочных горных пород. В этом случае именно различные несогласия служат теми границами, которые позволяют подразделять разрезы на отдельные толщи (Рис. 11).

Корреляция разрезов осуществляется в соответствии с исходной предпосылкой, согласно которой тектонические движения более или менее одновременно и однозначно проявляются на больших площадях поверхности Земли. Соответственно, несогласия могут быть прослежены во многих разрезах, являясь естественными геологическими реперами, по которым производится корреляция. Толщи, заключенные между одинаковыми поверхностями несогласия, рассматриваются как одновозрастные.



**Рис. 11. Угловое несогласие между терригенным флишем верхнего триаса-нижней юры и песчаниками нижнего мела (Юго-Западный Крым).**

Если поверхности несогласия связаны с крупными складчатыми движениями, разделяемые ими толщи могут обладать различной степенью дислоцированности, что позволяет расчленять разрез на ряд структурных комплексов. Корреляция последних

проводится как по степени, так и по характеру проявления складчатости. Некоторые несогласия прекрасно выражены на сеймостратиграфических профилях. Именно эти профили убедили геологов в том, что крупные несогласия иногда прослеживаются на огромных пространствах.

Тектоностратиграфический метод имеет ведущее значение при выделении местных и региональных подразделений в докембрийских образованиях, для которых применение других методов ограничено. Степень надежности результатов, получаемых с их помощью, достаточно велика, конечно, в пределах точности, с которой в настоящее время производятся расчленение и датировка докембрийских толщ.

Для фанерозоя рассматриваемые методы теряют свое ведущее значение. Палеонтологические и радиологические датировки, значительно более точные, чем для толщ докембрия, показывают, что тектонические движения растянуты во времени и в разных районах часто проявляются неодновременно. По-видимому, то же самое было и в докембрии, однако при существующих возможностях датировки докембрийских толщ эта неодновременность просто не улавливается. Сказанное не означает, что тектоностратиграфический метод для фанерозоя вообще не применим. Наоборот, в ряде случаев они дают хорошие результаты, особенно для ограниченных территорий. Тем не менее, любые тектоностратиграфические выводы обязательно должны контролироваться более точными методами даже, если корреляция по поверхности несогласия осуществляется в пределах небольшого района.

### **9.8. Магнитостратиграфический метод.**

Магнитостратиграфия исследует распределение в пространстве и изменение во времени геомагнитного поля в геологическом прошлом и закономерности закрепления этого поля в горных породах. Магнитостратиграфические исследования включают расчленение и корреляцию толщ на основании палеомагнитных характеристик слагающих их пород, и создание единой магнитостратиграфической шкалы.

Магнитные характеристики изверженных, осадочных и метаморфических пород обусловлены главным образом акцессорными минералами, обладающими ферромагнитными свойствами. К таким минералам относятся магнетит и его разновидности (титаномагнетит, магномагнетит), гематит, гемоильменит. В осадочных породах немаловажную роль играют также гидроокислы железа (гетит, гидрогетит, гидрогематит), а в изверженных и метаморфических породах – пирротин. Наиболее благоприятными объектами в магнитостратиграфии являются эффузивы основного состава, первичноокрашенные

красноцветные осадочные породы, а также бокситы. Данный метод может успешно применяться при изучении стратиграфии четвертичных и неогеновых отложений, исследовании стратиграфии немых толщ, а также определении возраста вулканогенных образований и руд.

При интерпретации палеомагнитных данных основываются на фундаментальных допущениях, которые обычно называют основными гипотезами палеомагнетизма:

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

2) Приобретенная первичная намагниченность сохраняется (хотя бы частично) в породе и может быть выделена из естественной суммарной многокомпонентной остаточной намагниченности породы и измерена (гипотеза сохранения).

Все ферромагнетики, будучи нагретыми выше определенной температуры, называемой точкой Кюри (300-600°C для большинства ферромагнетиков), теряют свои магнитные 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. Ее приобретают в процессе остывания (превращаясь в своеобразные стрелки компаса, указывающие направление на магнитные полюса Земли) все магматические породы.

Как во время формирования, так и в дальнейшем в горной породе образуются и преобразуются ферромагнитные минералы. Если это происходит при температуре ниже точки Кюри возникающего минерала, то в процессе роста его зерен появляется химическая остаточная намагниченность. Она характерна для метаморфических пород. Кроме того, очень важной для магнитостратиграфии является химическая намагниченность, приобретаемая красноцветными осадочными породами при образовании гематита.

При образовании осадочных пород на магнитные частицы в процессе осаждения оказывает ориентирующее действие геомагнитное поле. Магнитные минералы, попадая в осадок, стремятся расположиться таким образом, чтобы векторы намагниченности оказались направленными по полю. При обезвоживании осадка полученная ориентация частиц закрепляется, и осадок приобретает остаточную намагниченность, которая называется ориентационная.

Магнитная полярность геологических тел определяется первичной составляющей их естественной остаточной намагниченности, совпадающей с полярностью палеомагнитного поля.

По причинам, которые пока еще не поняты, в течение геологической истории через неправильные промежутки времени происходили инверсии (обращение полярности на  $180^0$ ) геомагнитного поля Земли. Инверсии занимали, как считают, до 5-40 тыс. лет. Многочисленные инверсии геомагнитного поля привели к тому, что разрезы осадочных и вулканогенных толщ оказались расчлененными на чередующиеся зоны прямой (совпадающей с полярностью современного геомагнитного поля и обозначаемые на колонках черным цветом) и обратной (противоположной современному полю и не закрашиваемые) намагниченности (Рис. 12).

Общая магнитостратиграфическая шкала четвертичного периода

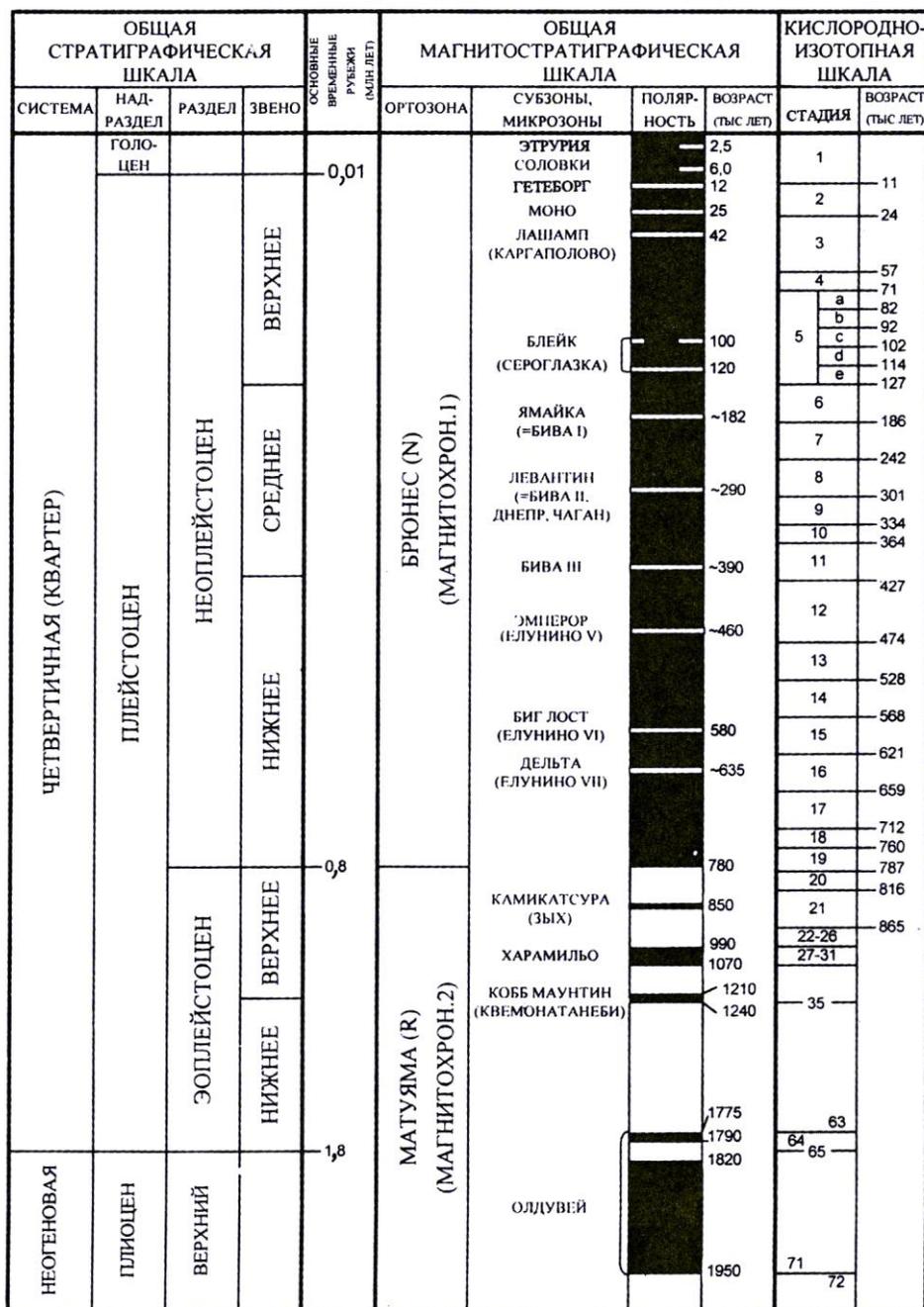


Рис. 12. Общая магнитостратиграфическая шкала четвертичного периода.

Глобальность и мгновенность (в геологическом масштабе времени) инверсий обеспечивают потенциальную синхронность границ между магнитостратиграфическими подразделениями в масштабе всей планеты. Иногда поле испытывает экскурсы (измеряемые в тысячах лет), когда поле не остается в измененном направлении достаточно продолжительный период времени (как при инверсии), а только переходит через точку обратной полярности. Инверсии и экскурсы потенциально являются очень четкими стратиграфическими маркерами, которые можно использовать для сверхточного инфразонального расчленения, однако их глобальное прослеживание затруднено тем, что их трудно уловить в разрезах.

Первые наблюдения, которые привели к мысли, что в прошлом геомагнитное поле было обратным современному были сделаны в 1904-1906 гг., во время исследований намагниченности лавовых потоков и обожженных ими глин. Доказательствами инверсий стало то, что одновозрастные породы повсеместно обладают первичной намагниченностью, соответствующей одной и той же полярности геомагнитного поля. Кроме того было установлено, что горные породы, обожженные интрузиями и лавами, независимо от состава и первоначального направления вектора остаточной естественной намагниченности, намагничены так же (либо прямо, либо обратно), как и эти интрузии и лавы.

Одна из задач палеомагнитологии – построение временной последовательности геомагнитных инверсий для всего интервала геологического времени. Шкала геомагнитной полярности базируется на глобальном процессе инверсий. Поэтому ее подразделения по своей сути планетарны и теоретически могут быть установлены везде, где присутствуют осадочные и вулканогенные образования. Однако практически это сделать не легко, так как сами по себе магнитостратиграфические подразделения слабо индивидуализированы, а, следовательно, и труднораспознаваемы. Поэтому в магнитостратиграфии большое значение имеет точная привязка магнитостратиграфических подразделений к подразделениям общей, региональной и местной стратиграфической шкал и создание системы реперов, как основы для палеомагнитных корреляций. Не менее важное значение имеет и хронометрирование подразделений шкалы геомагнитной полярности, то есть определение их возраста методами изотопной хронологии.

Для создания шкал геомагнитной полярности используются четыре способа. Существующая в настоящее время глобальная шкала полярности является сводной (синтетической) шкалой, основанной на согласовании всех данных, полученных указанными четырьмя способами. Шкала мезозоя с келловеев и ниже строилась исключительно по результатам магнитостратиграфического изучения разрезов осадочных и вулканогенных толщ на суше.

Магнитостратиграфические исследования начинаются в том или ином районе с отбора образцов в наиболее полном (опорном) разрезе. Следует отметить, что образцы должны быть строго ориентированы по сторонам света. Для этого выбирают плоскость маркировки (в качестве которой для слоистых пород используют плоскость напластования) и измеряют с помощью горного компаса азимут и угол наклона этой плоскости. Линию падения наносят на плоскость маркировки со стрелкой в сторону падения. Вторым этапом исследований является изучение других разрезов района, которые по палеомагнитным данным и данным классических методов стратиграфии сопоставляются между собой и с опорным разрезом. В результате уточняется число и взаимное положение магнитозон и составляется сводный магнитостратиграфический разрез, который в дальнейшем коррелируется с международной шкалой геомагнитной полярности, а через нее с общей шкалой и палеомагнитными разрезами других регионов.

Так как инверсии – явление глобальное, должна быть точная стратиграфическая и хронологическая корреляция прямо и обратно намагниченных образований по всему миру. Поэтому при использовании первого способа шкала геомагнитных инверсий может быть построена как чисто хронологическая шкала, если образцы пород, для которых определена магнитная полярность, удастся датировать физическими методами. Такая шкала называется магнитохронологической. Ее построение стало возможно только с развитием калий-аргонового метода, позволившего очень точно датировать вулканогенные породы, главным образом основные лавы, магнитная полярность которых определена.

Первая подобная шкала, основанная на 150 одновременно проведенных определениях возраста лав и их магнитной полярности в разных точках Земли была построена А. Коксом, Р. Долем и Г. Далримплом в 1963 г. Она охватывала последние 3,5 млн. лет и состояла из трех зон – двух зон прямой полярности и одной зоны обратной полярности, каждая продолжительностью приблизительно по одному миллиону лет. Увеличение числа определений показало, что многие из них не укладываются в эту простую схему. Это привело к открытию внутри главных интервалов полярности более коротких интервалов. Они были названы эпизодами или событиями и получили собственные наименования по местам их открытий. А более длинным интервалам – эпохам были присвоены имена выдающихся геомагнитологов. Созданная классическая шкала магнитных инверсий твердо доказала их глобальный характер и была впоследствии продлена до 16 млн. лет. Учитывая, что калий-аргоновые датировки таких древних пород могут быть не совсем точными, эти исследования проводились под строгим стратиграфическим контролем. Изучались разрезы лав Исландии и Закарпатья, где последовательность потоков была известна, и калий-аргоновые датировки могли быть скорректированы. Указанный рубеж в 16 млн. лет можно

считать нижней границей применимости чисто геохронологического метода построения шкалы инверсий. Следует также учитывать, что изучение лавовых потоков не может дать непрерывной информации об инверсиях, так как вулканическая активность это процесс, неравномерный во времени.

Второй способ – это изучение знакопеременных линейных магнитных аномалий в океанах, возникновение которых связано с выплавлением из мантии базальтового расплава, который, охлаждаясь, приобретает термоостаточную намагниченность и сохраняет ее по мере удаления от оси спрединга. Интерпретация таких профилей дает последовательность прямо и обратно намагниченных аномалиеобразующих тел, которые в соответствии с концепцией разрастания океанического дна представляют собой хронологическую запись геомагнитных инверсий. Имея датировки этих аномалий можно построить так называемую аномалийную шкалу геомагнитных инверсий. Для ее проверки используют два метода. Первый метод – это морское бурение в пределах хорошо определенной магнитной аномалии и установление возраста базальтового слоя калий-аргоновым методом или определение возраста осадка, непосредственно перекрывающего базальтовый слой биостратиграфическими методами. Так как разрыв между временем извержения базальтов и началом накопления осадков на морском дне, в общем незначителен, возраст осадка позволяет довольно точно рассчитать возраст зоны полярности. Второй метод – менее прямой, но не менее точный, основан на том единственном свойстве, которое позволяет отличать одну зону полярности от другой, а именно на их мощности. Мощности варьируют от зоны к зоне в больших пределах и совершенно незакономерно. Поэтому интервал из 4-6 зон полярности неповторим и представляет собой своеобразный штрих-код. Этот интервал может быть сопоставлен с такой же последовательностью зон в других местах. Ширина зон полярности в океанской коре сильно отличается от мощности этих же зон в континентальных разрезах, но если скорость спрединга и скорость осадконакопления не изменялись значительно, то отношения мощностей зон полярности будут примерно теми же самыми, и, следовательно, будет одинаков специфический характер последовательности инверсий. Последовательность молодых зон полярности, располагающихся вблизи осей спрединга, может быть уточнена сопоставлением со шкалой Кокса.

Надо отметить, что морские магнитные аномалии являются наиболее полным источником информации об инверсиях в интервале возраста дна океанов – от оксфорда до современности (океанских аномалий с возрастом более 160 млн. лет до сих пор не обнаружено). Основная причина высокой точности морских магнитных аномалий заключается в непрерывности геологических процессов, приводящих к образованию новой коры вдоль срединно-океанских хребтов.

Палеомагнитное изучение разрезов донных осадков по кернам буровых скважин и по колонкам донных грунтовых трубок является третьим способом. Изучение глубоководных, не подверженных воздействию мутьевых потоков осадков дна океанов может дать более полную информацию об инверсиях, чем изучение лав. Впервые запись инверсии в колонке донных осадков была обнаружена в 1964 г. Наиболее длинные (до 34 м) колонки позволили продолжить шкалу Кокса на весь неоген. Из-за молодости океанического дна использование керна буровых скважин, как и в предыдущем способе, может быть применено для построения шкалы инверсий, начиная с оксфорда.

Следует отметить, что другим направлением изучения донных осадков является детальное изучение колонок в областях быстрого осадконакопления. Их целью является выявление эпизодов и экскурсов геомагнитного поля.

Наконец, четвертый способ – это применение нормальной стратиграфической процедуры – палеомагнитное изучение наиболее полных разрезов осадочных и вулканогенно-осадочных толщ в стратотипических областях, сопоставление полученных последовательностей зон прямой и обратной намагниченности, их надстраивание, взаимная проверка, составление сводных местных и региональных магнитостратиграфических шкал, а затем объединение их в глобальном масштабе. Временной эквивалент построенной таким путем магнитостратиграфической шкалы представляет собой последовательность интервалов прямой и обратной геомагнитной полярности, привязанную к Общей геохронологической шкале – к периодам, эпохам и векам.

Несмотря на имеющиеся проблемы, в настоящее время магнитные эпохи, границы которых прослежены на разных континентах, в общем уже определены для всего фанерозоя и постоянно детализируются. Палеомагнитные работы показали, что для длительных интервалов геологического времени было характерно какое-либо преимущественное состояние полярности (нормальное, обратное или смешанное), после чего наступали периоды многократных инверсий. Продолжительность интервалов преимущественной полярности изменяется от 30 до 100 млн. лет. Вследствие этого породы с прямой и обратной намагниченностью (магнитозоны) образуют в разрезе неравномерно расположенные сгущения и разряжения. Это делает возможным ранжирование магнитных единиц, при котором отдельные магнитозоны группируются в более крупные магнитостратиграфические подразделения. Феномен преимущественной полярности проявляется также в протерозое, но структура полярности для этого интервала пока изучена плохо. Номенклатура магнитных подразделений, а также их конкретные наименования должны быть предметом международного согласования. В перспективе магнитостратиграфическая шкала должна

стать мировой, а ее границы получают точные уровни в международной стратиграфической шкале.

Магнитостратиграфические подразделения – это совокупности горных пород в их первоначальной последовательности, объединенные своими магнитными характеристиками, отличающими их от подстилающих и перекрывающих слоев. Среди магнитостратиграфических подразделений по принципу обоснования различают магнитополярные и магнитные.

Магнитополярные (палеомагнитные) подразделения основаны на магнитных параметрах, отражающих характеристики изменения геомагнитного поля во времени: изменения (обращения) полярности поля (инверсии, экскурсы), его напряженности, координат палеомагнитных полюсов и др. При этом главной характеристикой и основным критерием выделения является полярность геомагнитного поля. Среди магнитополярных подразделений различаются общие, региональные и местные.

Магнитные подразделения не имеют в своей основе изменений геомагнитного поля и выделяются по совокупности численных магнитных характеристик (по значениям магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности и др.). Все магнитные подразделения относятся к региональным и местным.

Магнитополярными подразделениями являются магнитозоны полярности – совокупности геологических тел в первичной последовательности залегания, объединенных присущей им магнитной полярностью, отличающей их от подстилающих и перекрывающих слоев.

Нижняя и верхняя границы магнитозон устанавливаются по инверсионным переходам, которые представляют собой границы раздела (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 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 объемам отложений,

которым отвечает данное подразделение, или же с помощью изотопно-геохронометрических данных.

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

Таксономическая шкала общих магнитополярных подразделений (магнитозон) состоит из следующих соподчиненных единиц: мегазона, гиперзона, суперзона, ортозона, субзона, микрозона (с приблизительной их длительностью от 100 млн. лет до 0,5 и менее млн. лет).

Из указанных единиц мегазона - магнитостратиграфическое подразделение, фиксирующее наиболее значительные этапы эволюции геомагнитного поля; по объему она примерно сопоставима с эратемой фанерозоя. Гиперзона – магнитостратиграфическое подразделение, которое выделяется по особенностям распределения магнитной полярности в значительных интервалах разреза; сопоставима с системой. Суперзона выделяется по тем же критериям, что и гиперзона, но охватывает меньший стратиграфический объем; сопоставима с несколькими ярусами или отделом.

Ортозона – основное подразделение магнитостратиграфической шкалы, которое чаще всего представляет собой интервал преимущественной полярности с единичными реперными субзонами противоположной полярности. По объему сопоставима с ярусом или его частью. Субзона – элементарная единица магнитостратиграфической шкалы, представляющая собой сравнительно узкий монополярный интервал разреза. Микрозона – наименьшая единица магнитостратиграфической шкалы, фиксирующая элементы тонкой временной структуры геомагнитного поля: экскурсы и др. Микрозоны могут выступать также в качестве реперных уровней внутри единиц более высокого ранга.

Региональные и местные магнитостратиграфические подразделения – это магнитополярные и магнитные подразделения, опознаваемые лишь в пределах конкретных регионов или структурно-фациальных зон и выделяемые на основе стратотипов региональных или местных стратонов.

Магнитные подразделения, то есть магнитозоны, выделенные по численным магнитным характеристикам, не связанным с полярностью древнего геомагнитного поля, собственных названий не имеют; их название заменяется краткой характеристикой, например “зона повышенной магнитной восприимчивости”.

При всех положительных сторонах магнитостратиграфического метода, главная из которых – потенциальная возможность абсолютно точной глобальной корреляции событий,

одновременных инверсиям знаков полярности, широкое использование палеомагнитных данных в практической стратиграфии в настоящее время весьма ограничено. В первую очередь это связано с трудностью метода, слабой намагниченностью многих пород, ошибками в выявлении первичной намагниченности пород, претерпевших вторичное перемагничивание и т.д. Горная порода во время своей “жизни” могла погружаться на глубину, подвергаться динамическим нагрузкам, прогреваться внедрившимися интрузиями, претерпевать различные физико-химические изменения, в результате которых древние породы перемагничиваются. Первичная намагниченность при этом разрушается и возникает намагниченность, возраст которой моложе возраста породы. Кроме того, многие магнитостратиграфические подразделения еще не увязаны с биостратиграфическими уровнями, что при слабой индивидуализации этих подразделений затрудняет их идентификацию при широких сопоставлениях.

Определенные проблемы возникают при сопоставлении магнитостратиграфических шкал. Причиной этому может служить разная степень детальности проведенного палеомагнитного изучения разрезов, трудности с обнаружением скрытых перерывов. Из-за вариаций в скорости седиментации отношение мощностей зон полярности, которое является основным параметром для их идентификации, может очень сильно изменяться в разных разрезах.

### **9.9. Сейсмостратиграфический метод.**

Быстрый прогресс в цифровой обработке сейсмических материалов позволил в 70-е годы прошлого века подойти к решению многих геологических задач на новом качественном уровне. На основе данных по современным модификациям сейсморазведки отраженных волн стало возможным раскрывать с большой точностью геометрию слоев и форму геологических тел осадочного чехла, с учетом данных бурения и материалов по естественным обнажениям (палеонтологических и других характеристик) путем использования скоростных параметров и особенностей сейсмической записи судить о возрасте и вещественном составе пород, отраженных на сейсмических разрезах. Рисунок сейсмической записи позволяет подходить к прогнозированию фациального состава пород.

Сейсмостратиграфический метод все больше входит в практику геологических работ. Его отличают быстрота получаемых результатов и их наглядность, а также масштабность исследований (в смысле охвата громадных площадей осадочных бассейнов). Он помогает судить о строении осадочных толщ на больших глубинах, недоступных современному бурению и получать их трехмерное изображение. К его достоинствам относится также

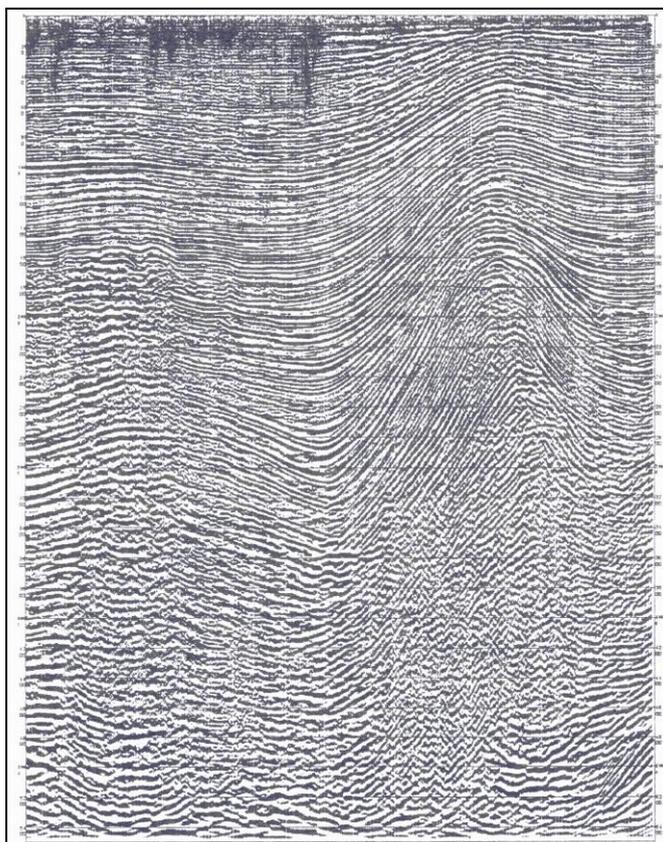
возможность расчленять осадочный чехол в труднодоступных и плохо обнаженных районах (болота, леса и акватории).

При сейсмостратиграфических исследованиях для расчленения и корреляции используются особенности распространения в толщах горных пород искусственно возбуждаемых упругих сейсмических волн. Наиболее распространенным источником возбуждения упругих колебаний являются взрывы, осуществляемые в шурфах или скважинах, закупоренных водой или глинистым раствором. При этом достигается максимальное использование выделяемой взрывом энергии. Очень часто используются невзрывные генераторы (импульсные и вибрационные), которые возбуждают сейсмические колебания путем механического воздействия на поверхность грунта.

При разных задачах меняется технология проведения сейсмических исследований. Для увеличения разрешаемых возможностей повышают частотный спектр волнового поля, но при этом понижается глубинность принимаемого сигнала. Наоборот, при увеличении глубинности исследований понижают частотный спектр, проигрывая в разрешаемой возможности.

В зависимости от вещественного состава пород, их упругих и плотностных свойств, скорость прохождения этих волн будет различной. На границах слоев с разными физическими свойствами слагающих их пород сейсмические волны отражаются, причем интенсивность отраженных волн тем выше, чем значительнее различия этих свойств. Отраженные волны, достигшие поверхности Земли, регистрируются сейсмоприемниками, в которых механические колебания грунта преобразуются в электрические напряжения, специальными обрабатывающими устройствами преобразуемые в фотоизображения вертикального разреза (Рис. 13), которые затем дешифрируются.

Особенно отчетливо на этих фотоизображениях выделяются протяженные сейсмометрические границы, отвечающие поверхностям контакта пород, различающихся по своим свойствам. Типичными примерами отчетливых резких сейсмометрических границ можно считать кровлю кристаллического фундамента под толщиной песчано-глинистых пород, поверхность контакта известняков и песчаников с рыхлыми терригенными породами, разрывные нарушения, вдоль которых соприкасаются породы разного литологического состава. Очень часто сейсмометрическим границам отвечают поверхности несогласий в разрезе осадочных толщ.



**Рис. 13. Пример временного сейсмоакустического разреза.**

Сеймостратиграфический метод базируется на положении об изохронности сейсмических отражений, выявленных в осадочном чехле. Гладкие (зеркальные) отражения, связанные с напластованием пород, имеют строго фиксированный относительный возраст образования слоев. Шероховатые отражения, приуроченные к поверхностям несогласий, датируются отдельным возрастным диапазоном. Его нижний предел всегда моложе подстилающих слоев (и соответствующих отражений) и древнее покрывающих слоев. Вместе с тем, сейсмические разрезы могут содержать помимо отражений, связанных с возрастными напластованиями и поверхностями несогласий, сейсмические границы, которые приурочены к разделам, созданным постседиментационными процессами (плоскости разрывных нарушений, пластовые интрузии и другие поверхности). Они, естественно, не являются изохронными, но их роль в формировании временного поля на сеймостратиграфическом разрезе ничтожно мала и легко устанавливается по секущему положению к отражениям, связанным с напластованиями.

Устанавливаемые с помощью сеймостратиграфического метода подразделения получили название сеймостратиграфических. Это геологические тела, ограниченные по разрезу сейсмометрическими границами. Последние обычно представлены сейсмогоризонтами – протяженными поверхностями внутри интервала геологического разреза, отвечающими наиболее устойчивым и резким литологическим разделам. Все

сейсмостратиграфические подразделения относят к категории региональных и местных. Главной единицей региональных сейсмостратиграфических подразделений является сейсмокомплекс. Это совокупность горных пород, характеризующаяся единством внутреннего структурного плана (преимущественно согласное залегание слоев, однотипный характер дислокаций), ограниченная регионально выдержанными сейсмогоризонтами, обычно соответствующими поверхностям региональных несогласий. Местные сейсмостратиграфические подразделения – совокупности горных пород, обладающие тем или иным сейсмическим признаком или их сочетанием. Местные сейсмостратиграфические подразделения выделяются в сейсмометрических границах любых типов (например, изменение рисунка сейсмической записи), которые прослеживаются в пределах отдельной структурной зоны или части бассейна седиментации.

Принадлежность выделяемых сейсмостратиграфических единиц именно к стратиграфическим подразделениям (а не к тектоническим и иным) необходимо устанавливать с помощью прямых геологических методов.

Сейсмостратиграфические единицы и сейсмостратиграфическая корреляция, осуществляющаяся путем непосредственного прослеживания сейсмических отражений, намечаются, прежде всего, внутри единого осадочного бассейна. При переходе в другой бассейн сейсмостратиграфическая корреляция должна осуществляться с учетом данных биостратиграфии. Увязка с биостратиграфическими единицами позволяет определять реальный геологический возраст сейсмостратиграфических единиц. В ряде случаев сейсмостратиграфия 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.

Чрезвычайно важно, что корреляция изохронных отложений способствует реальной расшифровке соотношения свит в разрезах разных регионов и сопоставлению разнофациальных разрезов, что всегда наталкивается на большие трудности. При этом сейсмостратиграфия дает объективные критерии проверки стратиграфических схем, составленных на основании других методов. Сейсмостратиграфия с ее методикой исследования осадочных комплексов позволяет надежно 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. Одним из важных направлений использования сейсмостратиграфии является выявление этапности развития осадочных бассейнов.

Несмотря на многочисленные достоинства этому методу свойственны и некоторые ограничения. Стратиграфические задачи он решает только в осадочных бассейнах, где углы наклона пород, как правило, не выходят за пределы 10-20°. Важно помнить, что в принципе точность привязки сейсмических отражений к конкретным геологическим границам зависит от длины волны и, следовательно, определяется частотным спектром, что прямо связано с качеством используемой техники. Кроме того, с глубиной качество сейсмических материалов (характер сейсмических записей, их детальность и пр.) падает, что затрудняет сравнение разных частей – более высоко- и относительно низкочастотных сейсмических профилей.

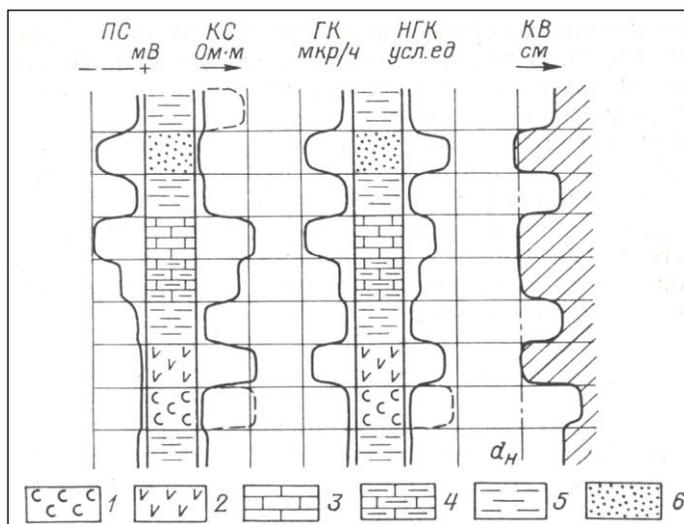
В настоящее время методы сеймостратиграфии особенно широко применяются на разных этапах выявления месторождений нефти и газа (неантиклинальных ловушек углеводородов). Для целых крупных нефтегазоносных бассейнов создается каркасная сеть опорных сеймостратиграфических профилей. Большое значение данные сеймостратиграфии имеют также для решения многих фундаментальных проблем тектоники и литологии, связанных с разработкой представлений о развитии нашей планеты.

#### **9.10. Каротаж скважин.**

Важнейшим видом работ на разных стадиях геологического изучения территорий является бурение скважин. При этом возникает необходимость исследовать ее геологический разрез, то есть определить вещественный состав, условия и последовательность залегания, а также мощности пород. Для этого в процессе бурения отбирается керн и шлам (выносимые буровым раствором обломки пород). Но эти материалы не всегда дают полное представление о разрезе, в частности, может сказаться неполный выход керна. Кроме того, не следует забывать, что отбор керна усложняет бурение и делает его более длительным. Все это и способствовало созданию каротажа - различных методов исследований в скважинах, которые используются с целью расчленения и корреляции разрезов, а также выявления пластов с полезными ископаемыми. Обработка данных каротажа, дает возможность сопоставить данные каротажа с керном. Сопоставление каротажных диаграмм опорной скважины с диаграммами соседних скважин дает возможность уточнить по геофизическим данным расчленение разреза и выявить закономерности изменения литологического состава и мощности стратиграфических подразделений в исследуемом районе.

Все методы каротажа представляют собой измерение значений каких-либо физических свойств пород, слагающих стенки скважин, специальным устройством (зондом) (Рис. 14).

**Рис. 14. Схематическая характеристика основных типов осадочных горных пород на наиболее часто используемых диаграммах каротажа (по В. А. Долицкому, с изменениями).**  
 1 — каменные и калийные соли; 2 — ангидриты; 3 — известняки и доломиты; 4 — глинистые известняки и доломиты; 5 — глинистые породы; 6 — алевритово-песчаные породы;  $d_H$  — номинальный диаметр скважины.



По мере погружения в скважину зонд пересекает слои, отличающиеся по физическим характеристикам. Эти различия фиксируются в виде кривой (диаграммы), вычерчиваемой самописцем, с которым соединен зонд. По длинной оси диаграммы последовательно отмечают в определенном масштабе (обычно 1:500 и 1:200) глубины скважины, а по короткой оси — значения измеряемых параметров также в масштабе. Характер записи диаграммы зависит, с одной стороны, от размеров и конструкции зондов, а с другой — от состава и особенностей пород, слагающих стенки скважины, диаметра скважины, свойств промывочной жидкости, температуры и т.п. Наиболее важно при этом соотношение мощности исследуемого слоя и диаметра скважины. Кроме того, при интерпретации любых каротажных диаграмм следует иметь в виду, что на них регистрируются также аномалии, обусловленные оборвавшимися и оставленными в скважине обрезками труб и другими металлическими предметами, блуждающими и переменными токами близ промышленных центров и т.п. Любое значительное изменение измеряемого параметра, зарегистрированное на соответствующей каротажной диаграмме, отражает только изменение состава пород в разрезе. На этом основаны расчленение и корреляция отложений с помощью каротажных диаграмм. Наиболее полная информация о глубинах залегания границ слоев и особенностях их литологического состава получается при сочетании нескольких видов каротажа. Первая задача, решаемая с помощью каротажа, это определение литологического состава и глубин залегания кровли и подошвы слоя в скважинах.

Различают электрический, радиоактивный, акустический, магнитный, газовый и механический каротаж.

При использовании электрического каротажа исследуют электрическое поле, самопроизвольно возникающее в скважине и удельное сопротивление горных пород.

Величиной, характеризующей способность горной породы пропускать электрический ток, служит удельное сопротивление. По величине электропроводности породы занимают промежуточное положение между проводниками (металлы, электролиты) и изоляторами. Минералы, составляющие породы, за редким исключением, плохо проводят ток. Электропроводность породы обусловлена электропроводностью пластовой воды, заполняющей ее поры.

Основным видом радиоактивного каротажа является гамма-картаж, основанный на том, что породы обладают некоторой, хотя и небольшой радиоактивностью и изучающий интенсивность естественного гамма-излучения. По значениям естественной радиоактивности все породы делятся на три группы. К группе, обладающей высокой радиоактивностью относятся битуминозные глины, аргиллиты, глинистые сланцы, калийные соли. В группу со средней радиоактивностью входят глины, глинистые известняки, глинистые доломиты. К группе с низкой радиоактивностью относятся ангидриты, гипсы, доломиты, известняки, песчаники, каменный уголь. Повышенная радиоактивность глин связана с тем, что благодаря большой удельной поверхности они адсорбируют значительное количество урана и тория. В некоторых глинах повышенная радиоактивность обусловлена значительным содержанием калия. Большую радиоактивность могут иметь песчаники с глауконитом и монацитом. Радиус действия зонда при гамма-картаже около 30 см, поэтому увеличение диаметра скважины может привести к снижению показателей радиоактивности. Наличие обсадной колонны снижает амплитуды гамма излучения и ухудшает дифференциацию пластов по кривой гамма-каротажа. Тем не менее, гамма-картаж можно проводить и в обсаженных скважинах, так как излучение проходит через обсадные трубы. Это большое преимущество данного метода по сравнению с другими.

Акустический картаж – это метод определения упругих свойств пород, пройденных скважиной по наблюдениям за скоростью распространения в ней упругих волн. По существу, данный метод представляет собой применение сейсмических методов для изучения геологического разреза скважин. Для возбуждения и наблюдения упругих волн в скважину опускают зонд, который может содержать несколько ультразвуковых излучателей и приемников упругих колебаний. Скорость распространения упругих волн в разных средах сильно отличается. Для метана она составляет 430 м/с, глины – 1200-2500, нефти – 1300-1400, воды – 1500-1700, глинистого известняка – 2000-3500, песчаника – 3000-6000, каменной соли – 4500-5500, известняка – 5000-7500 м/с. Поглощающие свойства пород возрастают в рыхлых и сильно глинистых разностях, а также в трещиноватых породах. Значения скоростей для различных пород конкретного района устанавливаются в результате

сопоставления данных акустического каротажа с геологическим разрезом по керну уже пробуренных скважин.

Магнитный каротаж изучает магнитные свойства пород и, в первую очередь магнитную восприимчивость. Наибольшими ее значениями характеризуются магнетитовые и титаномагнетитовые железные руды.

Газовый каротаж представляет собой метод геохимического исследования скважин. Это измерение параметров, характеризующих газо- и нефтесодержание пластов. Залежи нефти и газа представляют собой смесь углеводородов. Основным компонентом природного газа является метан, кроме того, есть этан, пропан и бутан. При вскрытии скважиной газо- и нефтесодержащих пластов, газ, содержащийся в поровом пространстве породы, поступает в циркулирующий по скважине буровой раствор и выносится с ним на устье скважины. Здесь извлеченный из раствора газ поступает на анализ, после которого выделяются интервалы, перспективные на углеводороды.

Механический каротаж или кавернометрия представляет собой измерение диаметра скважины, зависящего от прочностных свойств слагающих стенку скважины пород, в результате которого получается кавернограмма. Приборы, предназначенные для измерений, представляют собой несколько механических щупов, скользящих по стенке скважины. Движение щупов с помощью соответствующего датчика преобразуются в электрические сигналы, которые передаются по кабелю на поверхность, где они поступают на регистрирующий прибор, записывающий кривую.

Отдешифрованные и обработанные каротажные диаграммы представляют собой не что иное, как схемы литологического расчленения разрезов, пройденных скважинами. Сопоставляя эти диаграммы, можно проводить корреляцию разрезов, протягивая от скважины к скважине согласно залегающие толщи пород с устойчивыми однотипными каротажными характеристиками, устанавливая фациальные замещения, выявляя угловые несогласия и т.д. Большое значение при этом придается выделению и прослеживанию маркирующих горизонтов. Они должны обладать выдержанной конфигурацией диаграмм, резко отличной от таковой вмещающих образований. В качестве маркирующих в терригенных толщах обычно используют прослои известняков, доломитов, пеплов, в карбонатных – слои глин или алевроитово-глинистые пачки, в соленосных – доломитов, пачки тонкого переслаивания разных, преимущественно несоляных, пород. При выдержанном строении разреза положительные результаты могут быть получены по одним геофизическим методам исследования скважин и сравнении их результатов с данными по эталонному разрезу, в котором отбирался керн. Достоверность таких корреляций в значительной степени зависит от контроля материалов геофизических исследований палеонтологическими,

литолого-минералогическими, геохимическими и другими данными, полученными в результате изучения керн опорных скважин. При сопоставлении разрезов скважин следует также учитывать наклон ствола скважины, так как при больших глубинах скважины даже небольшое искривление ее ствола приводит к заметному кажущемуся увеличению мощности вскрытых толщ.

Надо помнить, что каротаж является формальной регистрацией определенных характеристик разреза, которые обычно не прослеживаются за пределы ограниченного района. Корреляция по данным каротажа может проводиться только в том районе, где для всей площади установлена одна последовательность напластований. При корреляции регионального масштаба он обычно малоэффективен. При этом каротажные кривые не несут информацию о возрасте пород и без данных, полученных другими методами, не дают возможности проводить корреляции с определенной степенью уверенности.

### **9.11. Изотопно-геохронометрические методы определения возраста горных пород.**

Все рассмотренные выше методы стратиграфии определяют относительный возраст геологических тел по их соотношению друг с другом и с подразделениями эталонных шкал. Опираясь на эти методы, обычно можно судить лишь о хронологии, то есть относительной последовательности и длительности геологических событий (раньше, позже, одновременно, дольше, быстрее). Следует отметить, что созданная на основе биостратиграфического метода шкала фанерозоя имеет существенный недостаток – она безразмерна. И хотя геологические системы были выделены на основе биостратиграфии удивительно корректно (все они, как впоследствии выяснилось, оказались одного ранга), ученые не могли получить ответ на вопрос о длительности тех или иных периодов. Не следует также забывать, что фанерозой составляет всего 1/8 часть всей геологической истории Земли. Основная докембрийская ее часть почти не поддается расшифровке методами биостратиграфии. Решив в той или иной степени задачу пространственной соподчиненности отложений, стратиграфы долго искали пути определения временного параметра, используя для этого принцип “песочных часов”. За эталон равномерного процесса принимали различные явления. Э. Галлей предложил расчет возраста мирового океана по его солености и солености речной воды, считая, что скорость накопления солей в океане была всегда постоянной, а сам океан первоначально был пресным. По расчетам Э. Галлея возраст океана оказался более 10 тыс. лет. В начале XX в. метод Э. Галлея использовали и другие ученые. По их данным возраст океана составил от 90 млн. лет до 350 млн. лет. Еще один способ основан на оценке максимальной мощности осадочных толщ при допущении, что скорость осадконакопления оставалась неизменной на

протяжении всей истории Земли. Расчеты, произведенные этим методом, показали, что возраст Земли составляет от 96 млн. лет до 1526 млн. лет.

Радиоактивность была открыта в 1896 г. А. Беккерелем. В 1902 г. П. Кюри показал, что равномерно идущий процесс распада нестабильных изотопов может дать человеку меру времени. Двумя годами позднее Э. Резерфорд независимо от П. Кюри занялся этой проблемой и вместе с Б. Болтвудом установил факт распада нестабильных изотопов для горных пород и минералов, впервые показав, что этот процесс можно принять за основу количественной оценки геологического возраста. Следует отметить, что не все ученые по достоинству оценили значимость этого открытия. Так, еще в 1920 г. А.П. Павлов в одной из своих работ писал: “Оценить продолжительность геологических времен бессильно человеческое воображение и попытка измерить их годами и даже миллионами лет представляет, с точки зрения геолога, совершенно бесплодную работу”. Дальнейшее успешное развитие изотопного метода связано с именами В.И. Вернадского и А. Холмса. В.И. Вернадский первым в России оценил значение радиоактивности в науках о Земле. По составленной им программе была организована Радиевая экспедиция Академии наук (1910-1914 гг.). Одновременно в Англии А. Холмс проводил работы по установлению геологического возраста минералов и пород. Его работы “Ассоциация свинца с ураном в минералах горных пород и ее применение к измерению геологического времени” и “Возраст Земли” заложили основу методики определения геологического возраста по изотопам. А. Холмсом была составлена первая геохронометрическая шкала, основанная на изотопном методе и опубликованная в 1947 г.

Стратиграфы стремятся к получению как можно более точной привязки выбранных границ к цифровой шкале геологического времени, которая может быть выражена в годах. Когда радиометрическое датирование делается для границ Международной стратиграфической шкалы, желательнее приблизить его к разрезу, в котором данная граница избрана. Это не всегда удается, поскольку вблизи границ подразделений Международной стратиграфической шкалы, которые обычно проводятся внутри морских осадочных толщ, может не оказаться наиболее подходящих для такой цели вулканических пеплов и бентонитов. Хемогенные породы не содержат минералов, традиционно используемых в изотопной геохронометрии, а обломочные породы могут содержать материал, сохраняющий изотопную “память” об источнике сноса. Определения по глаукониту недостаточно надежны, так как его зерна могут быть и древнее и моложе вмещающей породы. Хорошие датировки возможны по интрузивным породам, однако, учитывая, что они рвут осадочные породы, эти цифры тоже нельзя использовать напрямую. Датировки границ международной стратиграфической шкалы постоянно ревизуют. Сравнение вариантов ее градуирования,

опубликованные за последние 10-20 лет показывают, что расхождение между ними достигает 1-3% от цифры возраста. Для палеозоя это составляет до 10 млн. лет.

В основе всех геохронометрических методов лежит определение возраста на основании процессов радиоактивного распада и спонтанного деления неустойчивых изотопов ряда элементов. Очевидно, что изотопные методы корректны лишь при двух условиях. Во-первых, нужно, чтобы скорость радиоактивного распада оставалась неизменной и специфичной для каждого элемента в течение всей геологической истории. Во-вторых, необходимо, чтобы единственным процессом, изменяющим содержание нестабильного и радиогенного изотопов в минерале, являлся процесс радиоактивного распада. То есть при обязательном сохранении замкнутости изотопно-геохронометрических систем использованных геохронометров (определенных минералов или их совокупностей) с момента их образования до настоящего времени. Данные физики свидетельствуют, что скорость спонтанного ядерного распада в термодинамических условиях Земли постоянна и не зависит от внешних влияний (давление, температура). Это доказано экспериментальным путем, обосновано теоретически и давно перестало быть предметом дискуссий. Что касается второго условия, то оно часто нарушается. Это сильно осложняет применение метода и влияет на его точность. Только самые жесткие требования к подбору проб позволяют получать надежные изотопные датировки. Необходимо всегда подбирать наиболее свежие, не подверженные процессам выветривания и наложенным гидротермальным преобразованиям породы. Однако, как показывает практика, пробы, удовлетворяющие всем необходимым требованиям очень редки. Коэффициент ошибки при изотопных методах возрастает от молодых отложений к древним. Так, для границы мезозоя и кайнозоя она составляет  $\pm 3$  млн. лет, а для начала протерозоя  $\pm 100$  млн. лет.

Единицей времени в геохронометрии является стандартный год Международного астрономического союза, определяемый в фундаментальных единицах – секундах, воспроизводимых с помощью атомноцезиевых часов. Для возраста, измеренного с помощью изотопно-геохронометрического метода, рекомендуется термин “изотопный” вместо ранее употреблявшихся терминов “абсолютный”, “изотопно-геохронологический”, “радиологический” и “радиометрический”. Изотопный возраст стратиграфического подразделения, его границ или геологического события устанавливается в годах (тыс., млн. или млрд. лет), отделяющих данное подразделение, границу или событие от настоящего времени. По принятому соглашению “настоящее время” относится к 1950 г., но это соглашение имеет реальное значение только при датировании позднеголоценовых отложений.

С момента образования того или иного минерала заключенные в его кристаллической решетке радиоактивные элементы распадаются, превращаясь в другие, более устойчивые дочерние (радиогенные) элементы. Поскольку этот процесс постоянен и односторонне направлен, с течением времени количество в минерале радиоактивного исходного вещества уменьшается, а количество продуктов его распада увеличивается. После известного периода времени, названного периодом полураспада, количество первичного радиоактивного материала, оставшегося в образце породы, уменьшается наполовину (полный же распад элемента происходит за время, примерно в 10 раз превосходящее период полураспада). Зная скорость распада радиоактивного изотопа, по соотношению количества материнского и дочернего продуктов распада нетрудно определить возраст минерала, а, следовательно, и содержащей его породы. Для определения возраста используются константы распада, показывающие, какая часть атомов радиоактивного элемента распадается за единицу времени по отношению к первоначальному количеству. Эти константы были согласованы в 1976 г. на XXV сессии Международного геологического конгресса, которая прошла в г. Сиднее (сами константы стали поэтому называться “сиднейскими”).

Изотопная хронометрия имеет особое значение в стратиграфии докембрия, для которого ограничены возможности использования наиболее универсального биостратиграфического метода. Однако ее роль велика и для фанерозойской стратиграфии, прежде всего для датирования магматических и метаморфических образований. На основе соотношений с интрузивными образованиями, возраст которых определен изотопными методами, могут быть получены определенные данные и о возрасте осадочных отложений.

Примерно из 1600 природных и искусственно полученных изотопов только 272 стабильны. Все остальные радиоактивны и неустойчивы. Для определения геологического возраста используются только долгоживущие изотопы.

Среди изотопных методов наиболее распространены следующие: калий-аргоновый, рубидий-стронциевый и уран-свинцовый. Сравнительный анализ значений изотопного возраста, полученных для одного и того же объекта разными методами и/или по разным геохронометрам, способствует выявлению реального геологического смысла изотопных датировок. Однако совпадение полученных значений, например K-Ar и Rb-Sr возраста само по себе не является критерием того, что они имеют прямой стратиграфическое значение.

Калий-аргоновый метод, основанный на радиоактивном распаде изотопа  $^{40}\text{K}$  и превращении его в радиогенный изотоп  $^{40}\text{Ar}$ , используется главным образом для датирования магматических, метаморфических и, в меньшей степени, осадочных пород по минералам, содержащим калий. Радиоактивный калий составляет лишь 0,0119% в смеси со стабильными изотопами  $^{39}\text{Ar}$  и  $^{41}\text{Ar}$ , однако входит в кристаллическую решетку более 100

минералов, в том числе очень широко распространенных. Основные калийсодержащие минералы в магматических и метаморфических породах – калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, биотит, мусковит, лепидолит, пироксены, роговая обманка, в осадочных – глауконит, сильвин, карналлит. Осложняет метод то обстоятельство, что кристаллические решетки минералов теряют радиогенный аргон в ходе метаморфизма и других процессов, что влечет за собой искажение (омоложение) изотопных датировок. Большая миграционная способность радиогенного аргона ограничивает применение метода для определения возраста докембрийских, обычно сильно метаморфизованных пород. Наиболее надежен и точен данный метод для послепалеозойских пород. Возраст пород определяют по мономинеральным фракциям. Несомненным преимуществом калий-аргонового метода является его высокая производительность. Аналитическая погрешность определения возраста калий-аргоновым методом составляет  $\pm 4\%$  от установленного возраста.

Рубидий-стронциевый метод основан на радиоактивном распаде изотопа рубидия  $^{87}\text{Rb}$  и превращении его в радиогенный изотоп стронция  $^{87}\text{Sr}$ . В настоящее время данный метод используется преимущественно для датирования кислых и средних магматических и метаморфических пород. Возраст осадочных пород этим методом определяется по глинистым минералам, в том числе по глаукониту. Наиболее подходящими минералами для рассматриваемого метода являются слюды (биотит, мусковит), полевые шпаты (ортоклаз и микроклин) с повышенным содержанием рубидия. Используется определение возраста и по мономинеральным фракциям и по породе в целом (в этом случае результаты получаются несколько хуже). Миграционная способность радиогенного стронция значительно меньше, чем у радиогенного аргона. Поэтому рубидий-стронциевый метод успешно применяется не только для определения возраста фанерозойских, но и докембрийских пород. Погрешность метода составляет  $\pm 3-5\%$  от установленного значения возраста.

Уран-свинцовый метод является наиболее испытанным - именно его еще в 1906 г использовал в ходе исследований Э. Резерфорд. Метод основан на радиоактивном распаде изотопов урана и тория и наиболее надежен преимущественно для датирования докембрийских пород, претерпевших длительные и многократные наложенные преобразования. Анализируются как отдельные радиоактивные и акцессорные минералы, содержащие уран и торий (уранинит, настуран, монацит, циркон, ортит, колумбит и др.), так и порода в целом (гнейсы, кристаллические сланцы, мраморы, железистые кварциты). Наибольшее значение имеют U-Pb датировки цирконов, монацитов и бадделеита, выделенных из вулканогенных пород. Главным преимуществом метода является возможность вычисления возраста одной и той же пробы по нескольким изотопным отношениям:  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ . Совпадение данных свидетельствует о

достоверности результатов, а несовпадение – об искажении возраста под влиянием наложенных процессов. Погрешность метода составляет  $\pm 5\%$  от установленного значения возраста.

Кроме охарактеризованных, существует еще целый ряд методов, используемых, однако не столь широко. В их числе можно назвать успешно разрабатываемый в последние годы самарий-неодимовый метод, основанный на распаде  $^{147}\text{Sm}$  и превращения его в  $^{143}\text{Nd}$ . Период полураспада самария равен 106 млрд. лет. Такая медленная скорость распада самария приводит к очень малому накоплению радиогенного изотопа ниодима, что требует исключительно точных аналитических определений. Самарий-ниодимовый метод имеет большое преимущество перед другими изотопными методами. Оно состоит в том, что радиоактивный и радиогенный изотопы очень близки по геохимическим свойствам. Поэтому даже в нижнедокембрийских породах, в которых из-за различных наложенных геохимических процессов оказываются нарушенными уран-свинцовые и рубидий-стронциевые системы, радиоактивное равновесие между материнскими и дочерними изотопами в самарий-неодимовый системе не нарушается. Данный метод применяется для датирования докембрийских пород, лунного грунта, а также метеоритного вещества.

В последние годы в практику внедряются нейтронно-активационные варианты разных методов, которые позволяют датировать даже открытые геохронологические системы, то есть породы с различными наложенными изменениями.

Все названные методы позволяют определить возраст пород, исчисляемый в сотни миллионов и миллиарды лет. Для определения кратких промежутков геологического времени используются методы, основанные на распаде недолговечных радиоактивных изотопов углерода, бериллия, рения и некоторых других. Особенно широко применяется радиоуглеродный метод.

Радиоуглеродный метод возник на основе исследования возможных эффектов космического излучения в атмосфере. Наблюдения, проведенные с помощью шаров-зондов, позволили установить, что максимум плотности потока нейтронов приурочен к верхним слоям тропосферы, то есть к высоте более 12 км. Бомбардируемые нейтронами космического излучения, ядра атмосферного азота ( $^{14}\text{N}$ ) превращаются в ядра радиоактивного углерода  $^{14}\text{C}$ . Атомы радиоактивного углерода быстро окисляются до  $^{14}\text{CO}_2$ . Тот, в свою очередь полностью смешивается с обладающим идентичными химическими свойствами  $^{12}\text{CO}_2$  и начинает принимать участие в круговороте углерода. В составе  $\text{CO}_2$  радиоуглерод усваивается растениями в процессе фотосинтеза, а вместе с ними попадает и в организмы животных. Он также проникает и в гидросферу, где связывается неорганическими соединениями углерода, растворенными в поверхностных слоях океана, и затем

накапливается в раковинах беспозвоночных животных и карбонатных породах. После гибели организма или отложения карбонатов на дно водоема обмен радиоуглерода с окружающей средой прекращается. Количество  $^{14}\text{C}$  начинает закономерно убывать (он в свою очередь превращается в  $^{14}\text{N}$ ). Момент захоронения остатков растительного или животного происхождения определяют по соотношению двух изотопов  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$ , которое все время меняется, так как количество  $^{14}\text{C}$  уменьшается, а  $^{12}\text{C}$  остается постоянным. Поскольку период полураспада радиоуглерода составляет всего лишь около 5730 лет, с его помощью может определяться возраст объектов не древнее 60 тыс. лет (в более древних объектах радиоактивного углерода уже не остается). Образцы моложе 1 тыс. лет не анализируют из-за большой погрешности в определении возраста. Наиболее точные результаты получают для образцов, возраст которых 3-5 тыс. лет. Оценивая точность датировок надо иметь в виду, что радиоуглеродный метод дает возможность определить лишь время выключения образца из углеродообменного цикла. Этот момент может сильно отличаться от возраста вмещающих пород. Так, древесина, погребенная в морене, могла образоваться задолго до накопления ледниковых отложений.

Объектами радиоуглеродного датирования являются самые различные углеродсодержащие материалы - древесный уголь, древесина, торф, почвы, кости, животные ткани, скелеты беспозвоночных (моллюсков, кораллов), а также карбонатные отложения (известковые туфы, сталактиты и др.).

Древесный уголь является самым надежным объектом датирования. Он содержит углерод в элементарной форме и практически не подвержен реакциям изотопного обмена. Небольшие загрязнения карбонатами и гуминовыми кислотами легко устраняются кислотами или щелочами.

Древесина состоит из крупных полимерных органических молекул, в основном лигнина и целлюлозы, почти не вступающих в реакции изотопного обмена. Древесина может загрязняться, адсорбируя углеродсодержащие вещества. Наиболее часто встречаются случаи проникновения в образцы древесины гуминовых кислот, содержащихся в почвенных или в грунтовых водах. Проблема заключается в том, что наличие в древесине гуминовых кислот не всегда является основанием считать образец загрязненным. Дело в том, что гуминовые кислоты могут образовываться из лигнина в результате разложения древесины. Поэтому в образце могут присутствовать как гуминовые кислоты собственного происхождения (имеющие такой же возраст, как и сама древесина), так и посторонние – имеющие более молодой возраст. Присутствие этого вида загрязнений устанавливается отдельным определением возраста по выделенным из древесины гуминовым кислотам и остаточному материалу. Совпадение результатов говорит об отсутствии в образце постороннего углерода.

Для очень молодых образцов следует учитывать возможность искажения возраста при определении некоторых долгоживущих пород деревьев, у которых внутренняя часть древесины может оказаться существенно древнее внешней.

Торф может подвергаться загрязнению еще в более значительной степени, чем древесина. Особенно трудно удалить из торфа корни современных растений, проникающие в торфяники, залегающие близко от поверхности. Так же следует учитывать продолжительность торфообразования и существенную разницу в возрасте нижних и верхних горизонтов торфяников.

Почвы применяют для датирования, если они содержат достаточное количество гумуса (около 1% и более). Самым опасным видом загрязнения для них является посторонний гумус, поскольку его устранение химическим путем невозможно.

Кости содержат углерод в двух формах: в виде органических (протеин, каллоген, жиры) и неорганических (карбонаты) соединений. Определение возраста по органической фракции более надежно, но и она может подвергаться различным загрязнениям из-за высокой адсорбционной способности костей. Из-за трудности удаления загрязнений, связанных с потерей исследуемого вещества в процессе химической обработки, кости следует признать малопригодным материалом. Сильно обожженная кость, напротив является весьма надежным веществом, которое по своим свойствам приближается к древесному углю. Для выявления загрязнения кости проводят отдельное измерение возраста по обеим фракциям – органической и карбонатной. В случае совпадения датировок считают, что возраст определен правильно. Использование радиоуглеродного метода применительно к костным остаткам позволило в свое время решить одну палеонтологическую загадку. В начале 20-х годов XX в. в окрестностях селения Пильтдаун в Англии были найдены фрагменты черепа, близкого по строению к черепу современного человека, но с нижней челюстью, обладающей признаками шимпанзе. Некоторые ученые выделили это существо в особый род *Eoanthropus* (заря-человек) и посчитали его предком человека. Лишь в 1953 г. радиоуглеродный анализ костей позволил установить принадлежность черепа палеолитическому человеку. Челюсть же оказалась подделкой. Она принадлежала современному шимпанзе и была специально окрашена перекисью водорода для придания ей более темной окраски.

Животные ткани могут успешно использоваться для определения возраста, однако встречаются крайне редко, так как могут сохраняться лишь в специфических условиях, например, в вечной мерзлоте.

Использование скелетов беспозвоночных животных и карбонатных отложений часто дает сильные искажения возраста, так как находящийся в них углерод может активно

вступать в реакции изотопного обмена. Наименее надежным материалом будут сильно разрушенные окаменелости и пористые карбонатные породы.

Радиоуглеродный метод широко применяется в геологии и археологии для датирования верхнеплейстоценовых (соответствующих последнему крупному, сопровождавшемуся в умеренных широтах покровным оледенением, похолоданию) и голоценовых отложений. С его помощью установлены изотопный возраст всех эпох оледенения, возраст формирования речных террас. Погрешность метода составляет  $\pm 5\%$  от установленного значения возраста.

Естественные радиоактивные часы по самым разным причинам часто оказываются испорченными и могут дать в таких случаях как омоложенные, так и удревленные датировки. Основные источники возможных ошибок при использовании изотопных методов могут быть следующими:

1. Инструментальные погрешности.
2. Неполная закрытость изотопной системы после образования используемого объекта. Поэтому всегда, как уже отмечалось, необходимо отбирать наиболее свежие, не подверженные выветриванию или загрязнению образцы. Лучше всего отбирать пробы из горных выработок или скважин. Чистоту отбора мономинеральных фракций необходимо проверять под биноклем. При взятии образцов для радиоуглеродного анализа надо избегать трогать их руками, недопустима упаковка их в бумагу, матерчатые мешочки, вату, картон, опилки и другие содержащие современный углерод материалы. Для установления замкнутости системы и сохранности в кристаллических решетках минералов радиогенных изотопов необходимо использовать современные методы – микронзондовый и рентгеноструктурный.
3. Сохранность радиоактивных элементов и продуктов их распада. Вынос или привнос радиоактивного изотопа (обычно под воздействием гидротермальных растворов) происходит реже (из-за его более прочной связи с соседними атомами минерала). Радиогенные же изотопы почти всегда отличаются от радиоактивных валентностью, ионным радиусом и другими особенностями. Поэтому атомы радиогенных изотопов оказываются чужеродными по отношению к минералу-геохронометру. Их связи с соседними атомами ослабевают, и облегчается их вынос по микротрещинам в виде гидротермального раствора или в виде газа. В частности, потери радиогенного аргона могут достигать 16-17%. Учитывая,

что содержание радиогенных изотопов обычно очень мало и редко превышает несколько процентов от содержания радиоактивного элемента, вынос даже очень небольшого количества радиогенного изотопа приводит к большим ошибкам.

4. Наличие в образцах первичных веществ, соответствующих продуктам радиоактивного распада, например свинца или аргона. Выделить элементы нерадиогенного происхождения бывает очень трудно.

5. Наличие в образце примеси минералов более древнего происхождения, содержащих радиогенные элементы.

6. Точность привязки образцов к границам стратонов. Минералы, содержащие радиоактивные элементы чаще встречаются в интрузивных породах. Отнесение их к границам стратонов наиболее затруднительно. Однако и минералы осадочных пород, включающие радиоактивные элементы, далеко не всегда расположены на границах стратонов. Поэтому возникает проблема интерполяции геологического возраста между смежными точками.

Следует отметить, что абсолютно надежных изотопных методов не существует, можно говорить лишь о степени их надежности. Важнейшими критериями надежности изотопных датировок можно считать следующие:

- 1) Надежность изотопных датировок может быть проверена, если параллельно возможно определение возраста с помощью традиционных методов (биостратиграфического, археологического и т.д.). Очевидным признаком ненадежности, например, будет являться противоречие между изотопным возрастом и возрастом, установленным по остаткам ископаемой фауны. Следует правда отметить, что зачастую изотопные методы применяют именно тогда, когда невозможно использовать данные биостратиграфии.
- 2) Прямым указанием на надежность полученных датировок является совпадение цифр возраста для нескольких объектов, взятых из одного образца. Примерами могут служить датировки, полученные калий-аргоновым методом для нескольких сингенетичных минералов, датировки уран-свинцового метода по нескольким разным изотопным отношениям, радиоуглеродные датировки для разных фракций древесины или костей. Их несогласованность,

наоборот, является свидетельством искажения изотопных отношений в одном или в нескольких образцах.

- 3) Прямым указанием на надежность полученных каким-то методом датировок является совпадение цифр возраста для нескольких образцов из одного слоя.
- 4) Прямым указанием на надежность полученных датировок является совпадение цифр возраста одного и того же образца, полученные разными изотопными методами.

Последовательный ряд датировок границ общих стратиграфических подразделений, определенный с помощью изотопно-геохронологических методов и выраженный в годах, составляет шкалу геологического времени.

В настоящее время не все границы подразделений Шкалы геологического времени обеспечены достоверными датировками. Как уже отмечалось ранее, это во многом объясняется тем, что на сегодняшнем уровне развития геохронологии в качестве датируемых объектов можно применять только вулканические и вулканогенно-осадочные (вулканические пеплы, бентониты) породы. Эти породы не всегда могут быть на границах подразделений Шкалы геологического времени. В тех же случаях когда указанные породы находятся с обеих сторон от границы, точность их привязок остается крайне ограниченной и возраст границы определяется с помощью интерполяции также с известной долей условности. Принимаемая на данный момент Шкала геологического времени отражает сумму имеющихся изотопных датировок. Установленный возраст границ впоследствии может быть изменен как вследствие уточнения численных значений при повторных, более современных определениях, так и в ходе дальнейшего совершенствования стратиграфической основы Шкалы геологического времени. В отличие от этого хронометрическая шкала, построенная на основе официально утвержденных значений изотопного возраста границ, прямо не зависит от эволюции взглядов на изотопный возраст реальных стратифицированных или интрузивных комплексов.

Внедрение в стратиграфию изотопных методов определения возраста пород позволило придать размерность стратиграфическим подразделениям и в этом главное значение изотопной хронологии. С ее помощью проведена хронометрия международной стратиграфической шкалы, то есть, определена длительность ее подразделений. Успехи изотопной хронологии дают основание некоторым геологам считать этот метод приоритетным по отношению к другим методам стратиграфии. Однако это не так. Изотопный метод не может служить основой периодизации истории развития Земли, поскольку опирается на процессы, протекающие независимо от этой истории. Поэтому этот

метод может использоваться лишь для подтверждения уже принятой периодизации и определения длительности тех или иных геостратиграфических периодов. Кроме того, пределы точности метода ограничены, и он не может соперничать с биостратиграфическим методом при разработке дробных стратиграфических схем. К этому можно добавить, что применение разных методов изотопной хронологии к одним и тем же объектам, часто приводит к несходным результатам. Все это порождает разногласия, иногда довольно существенные, в оценке возраста тех или иных стратиграфических подразделений и их границ.

### **9.12. Определение относительного возраста магматических пород и рудных жил.**

Рассмотренные выше методы определения возраста горных пород широко применяются при изучении осадочных и метаморфических пород. Однако в составе земной коры широко представлены и магматические породы, возраст которых также необходимо знать. Относительный возраст эффузивных пород, которые образуют такие же геологические тела, как и осадочные породы, можно с известной степенью точности определить, используя обычные стратиграфические приемы в трех основных случаях: 1) когда они подстилаются и перекрываются осадочными породами, возраст которых известен; 2) когда они переходят по простирацию в осадочные породы, возраст которых определен; 3) когда они содержат ксенолиты осадочных пород, возраст которых известен. Что же касается интрузивных магматических пород, то при определении их относительного возраста за основу принимают взаимоотношение между интрузивными породами и осадочными породами, возраст которых уже установлен. Рассмотрим следующий пример. Интрузивное тело прорывает толщу осадочных пород, а выше на размытой поверхности вмещающих и интрузивных пород расположена новая, покрывающая их толща. Время образования интрузива соответствует промежутку времени между окончанием образования нижней – вмещающей и верхней – покрывающей толщ. Возрастные взаимоотношения между жилами определяются по принципу: жила, секущая другую, моложе ее.

### **9.13. Последовательность стратиграфических исследований, обеспечивающих создание стратиграфической основы для геологического картирования.**

В основе геологического картирования лежит нанесение на карту стратиграфических подразделений, на которые расчленяется разрез осадочных и вулканогенных толщ картируемого района и выяснение их взаимоотношений, как в пространстве, так и во времени. Поэтому первым этапом геолого-съемочных работ являются стратиграфические

исследования, цель которых – создание стратиграфической основы для картирования. Стратиграфическая основа – это тот фундамент, на который опираются не только геологическая съемка, но и тектонические и палеогеографические построения, выводы о возрасте и формах проявления магматической деятельности, о возрасте и особенностях месторождений полезных ископаемых. Создание стратиграфической основы означает проведение таких работ, которые обеспечили бы достаточно детальное (в масштабе съемки) достоверное расчленение стратиграфического разреза и корреляцию выделенных стратонов на всей площади работ.

Стратиграфической основой для проведения геологических работ на какой-либо площади служит стратиграфическая схема, построенная с учетом опорного разреза и скореллированных с ним типовых разрезов, отражающих изменения объемов и соотношений выделенных стратонов или их стабильность на данной площади. Крупномасштабную геологическую съемку, исходя из современных требований, обычно проводят в пределах определенной целостной геологической структуры – структурно-фациальной зоны или ее части. Поэтому крупномасштабной стратиграфической основой служит, как правило, местная стратиграфическая схема.

Требования к такой основе зависят от масштаба карты и регламентируются Стратиграфическим кодексом России и рядом специальных инструкций. Стратиграфические исследования в нашей стране, как уже отмечалось, координируются специальным органом – Межведомственным стратиграфическим комитетом, в который входят комиссии по всем системам стратиграфической шкалы, комиссия по стратиграфической классификации, терминологии и номенклатуре и ряд других. Для отдельных крупных регионов страны эти функции выполняются Региональными межведомственными стратиграфическими комитетами (РМСК), также состоящими из нескольких комиссий.

Стратиграфические схемы того или иного района прежде, чем стать основой для государственного геологического картирования, должны быть апробированы комиссиями РМСК и утверждены Межведомственным региональным стратиграфическим совещанием. Затем отдельные части этих схем рассматриваются на соответствующих комиссиях МСК и по их рекомендациям утверждаются на Пленуме МСК. После этого региональные стратиграфические схемы обретают официальную силу, а на их основе разрабатываются легенды для геологических карт того или иного региона. Все сказанное относится к местным и региональным стратиграфическим схемам. Что касается Международной стратиграфической шкалы, то любые ее изменения и уточнения должны быть одобрены подкомиссиями по соответствующим системам Международной комиссии по стратиграфии и утверждены Международным геологическим конгрессом.

Таким образом, от непосредственного изучения разрезов и их корреляции к созданию стратиграфических схем и их внедрению в практику геологических работ – большой путь, успешно продвигаться по которому может лишь высококвалифицированный стратиграф, хорошо владеющий всеми методами стратиграфии, особенно – биостратиграфическими. Рядовой геолог-съемщик обычно участвует лишь в первоначальных исследованиях, являющихся, однако, наиболее ответственными, так как от их качества зависят все последующие обобщающие построения. Стратиграфические исследования, конечной целью которых является разработка унифицированной региональной стратиграфической схемы, как основы для геологического картирования, можно разбить на несколько этапов:

- 1) Знакомство с результатами предыдущих исследований;
- 2) Полевые исследования;
- 3) Камеральная обработка материалов, корреляция разрезов в пределах исследованного района, составление сводного разреза, расчленение его на местные стратиграфические подразделения;
- 4) Корреляция сводных разрезов различных структурно-фациальных зон;
- 5) Составление региональной корреляционной схемы, выявление общих закономерностей строения сравниваемых разрезов, выделение на этой основе региональных стратиграфических подразделений и разработка унифицированной региональной стратиграфической схемы.

#### **9.13.1. Знакомство с результатами предыдущих исследований.**

Почти вся территория России охвачена среднемасштабной геологической съемкой, а многие районы изучены более детально. Поэтому для каждого из них уже имеются более или менее разработанные стратиграфические схемы, с которыми, начиная работы, необходимо ознакомиться и оценить их в соответствии с требованиями сегодняшнего дня. Знакомство рекомендуется начинать с наиболее ранних исследований и продолжать в хронологическом порядке. Это позволит проследить эволюцию представлений о стратиграфии района, преемственность или, наоборот, противоречивость различных точек зрения, степень их обоснованности. В результате изучения опубликованных и фондовых материалов составляется общее представление о характере разреза осадочных и вулканогенных толщ района, степени его расчлененности и обоснованности выделенных стратиграфических подразделений, необходимости и масштабах дополнительных исследований. Особое внимание следует обращать на выявление наиболее слабо изученных мест в стратиграфической колонке района и на противоречия в истолковании фактического

материала, что всегда свидетельствует о недоработках, которые нуждаются в устранении. Поскольку к началу геолого-съёмочных работ уже накоплен большой фактический материал по стратиграфии района, необходимо не допускать излишних затрат сил и времени на изучение того, что уже известно и хорошо обосновано фактическим материалом.

### **9.13.2. Полевые исследования.**

Полевые исследования начинаются с рекогносцировочных маршрутов, в ходе которых происходит знакомство с основными структурными особенностями района, оценивается степень обнаженности и прослеживаемости слагающих его толщ, отмечается местоположение разрезов, описанных в литературе, намечаются места дополнительных разрезов.

Следующим этапом полевых исследований является знакомство со стратотипами и опорными разрезами выделенных в районе стратиграфических подразделений, которые служат эталонами состава, строения, объема и стратиграфических соотношений стратонов на картируемой площади. При этом преследуется несколько целей. Первая из них – получить представление о стратонах, на которые расчленяется разрез, и признаках, отличающих их друг от друга, чтобы уметь различать и прослеживать эти стратоны в ходе дальнейших работ. Особенно важно выделить маркирующие горизонты, которые можно проследить на всей картируемой площади или на значительной ее части. Необходимо также оценить степень обоснованности выделенных подразделений и их соответствие масштабу проводимых работ и современным требованиям. В результате может быть принято решение о необходимости дополнительного обоснования объема и границ того или иного подразделения или его более дробном расчленении сообразно масштабу проводимых работ. Нередко случается, что стратотипы, выбранные в качестве эталона того или другого подразделения, не отвечают своему назначению из-за плохой обнаженности соответствующего интервала разреза, нечеткости границ, плохой палеонтологической обоснованности и др. В этом случае может быть поставлен вопрос о выборе нового стратотипа. Если район изучался ранее не одним исследователем, может существовать несколько вариантов расчленения разреза. Поэтому при знакомстве с опорными разрезами необходимо вникать в суть противоречий и производить оценку различных точек зрения.

После ознакомления с данными предыдущих исследований можно решить, какие работы и в каком объеме необходимо провести, чтобы обеспечить геологическую съемку заданного масштаба. Только войдя в существо проблем стратиграфии исследуемого района, можно четко планировать дальнейшие работы, масштаб и направленность которых

диктуются, с одной стороны, стоящими задачами, с другой – степенью соответствия уже имеющихся данных требованиям, необходимым для выполнения этих задач.

После того, как выкристаллизовалась общая стратегия исследований, необходимо выбрать объекты изучения. Из намеченных во время рекогносцировочных маршрутов выбираются наиболее полные, хорошо обнаженные и ненарушенные разрезы. На последнее стоит обращать особое внимание, так как недоучет разрывных и складчатых нарушений при описании разрезов часто приводит к грубым ошибкам в их интерпретации, особенно, если работы проводятся в сложно построенной складчатой области. Внимательного подхода требует также степень полноты разреза, так как следы стратиграфических перерывов и несогласий не всегда проступают в явной и легко различимой форме.

Выбрав разрезы, приступают к их изучению. Описание разрезов рекомендуется вести стратиграфически снизу вверх, что позволяет следить за эволюцией причинно-следственных связей осадконакопления и изменения по разрезу состава комплексов ископаемых организмов. В идеале все разрезы должны изучаться с максимально доступной тщательностью, детальностью и всесторонностью. Реально же добиться этого, как правило, невозможно. Всесторонность требует привлечения к работам многих высококвалифицированных специалистов и очень хорошей лабораторной базы. Детальность и тщательность связаны с большими затратами времени. Поэтому на практике детальность изучения разрезов и необходимое для этого время определяются общими задачами проводимых исследований и имеющимися возможностями. Кроме того, немаловажное значение имеет и объем исследования, определяющий методику работ, различную для разных типов отложений – терригенных, карбонатных, кремнистых, вулканогенно-осадочных и др.

Полевые стратиграфические исследования должны сопровождаться тщательными описаниями разрезов с точной привязкой литологических и, в особенности, палеонтологических образцов. При этом необходимо указать, взят образец в коренном обнажении или подобран из осыпи. Описание разреза сопровождается зарисовками и фотографированием, как самого разреза, так и его деталей. При прослеживании отдельных толщ фиксируются и документируются все наблюдаемые их изменения и фациальные переходы.

В связи с тем, что крупномасштабную геологическую съемку проводят также с целью поиска и прогноза полезных ископаемых, при подготовке стратиграфической основы необходимо специально изучить проявления полезных ископаемых или их признаки по всему разрезу. Особо учитываются и изучаются те местные стратиграфические подразделения, которые содержат полезные ископаемые или ограничивают продуктивные

толщи. Стратиграфические критерии поисков определенного вида полезного ископаемого желательно выявлять при подготовке стратиграфической основы, с тем, чтобы они могли быть эффективно использованы в период съемки, хотя при этом и будут уточняться.

### **9.13.3. Камеральные исследования.**

Предварительная обработка собранных материалов осуществляется уже во время полевых работ. После маршрута или в специально отведенные для этого дни упаковываются образцы, заполняются журналы образцов, составляются стратиграфические колонки. Попутно производится осмысление собранного материала, что позволяет оценить проделанную работу и вовремя внести коррективы в дальнейшие исследования.

Основной объем камеральных работ осуществляется после возвращения с поля. Она начинается с разборки и систематизации полевой первичной документации. К числу таких материалов относятся полевые дневники, стратиграфические колонки, отдешифрованные аэрофотоснимки, каталоги ископаемых остатков и проб и вся другая геохимическая и геофизическая документация, характеризующая закартированные стратиграфические подразделения. Затем в соответствующих лабораториях изучаются вещественный состав и другие особенности пород. Ископаемые остатки определяются палеонтологами, специалистами по соответствующим группам. После того, как определительские и аналитические работы будут выполнены, по их результатам корректируются полевые наблюдения и производится корреляция изученных разрезов. Она обычно оформляется в виде схемы сопоставления стратиграфических колонок, составленных для каждого из изученных разрезов. Анализ этой схемы позволяет оценить степень прослеживаемости подразделений, выделенных в том или ином разрезе и степень изохронности их границ. В зависимости от этого, а также от степени литологической и палеонтологической обособленности этих подразделений, их мощности, соподчиненности, соответствия этапам седиментогенеза производится их стратиграфическая классификация, выражающаяся в выделении различных стратонов. По имеющимся палеонтологическим данным устанавливаются их возраст в подразделениях международной стратиграфической шкалы. Итогом всего этого должна явиться сводная стратиграфическая колонка, объединяющая данные по всем изученным разрезам.

#### **9.13.4. Корреляция сводных разрезов различных структурно-фациальных зон.**

Если стратиграфические работы ведутся в геологически сложно построенном районе, разные части которого (структурно-фациальные зоны) развивались неодинаково и обладают своеобразным разрезом осадочных и вулканогенных толщ, для каждой из таких зон составляется сводная стратиграфическая колонка, которые затем коррелируются между собой. Корреляция проводится, главным образом, биостратиграфическими методами с использованием и других методов, результаты которых не очень зависят от местных особенностей осадконакопления, например, магнитостратиграфического, изотопных, тектоностратиграфического. В результате такой корреляции выясняется, какие из местных стратиграфических подразделений прослеживаются в пределах всего исследуемого района, а какие лишь в границах отдельных структурно-фациальных зон.

Составлением схемы межзональной корреляции завершается четвертый этап стратиграфических исследований. Общий результат – выделение местных стратиграфических подразделений с указанием районов, в пределах которых они могут картироваться.

#### **9.13.5. Составление региональных корреляционной и унифицированной стратиграфических схем.**

Все описанные выше стратиграфические работы проводятся геологами-съемщиками или сотрудниками специализированных стратиграфических отрядов, обычно создаваемых в каждой из крупных геолого-съемочных экспедиций. Эти работы должны опережать геологическую съемку, но на практике они, как правило, ведутся параллельно и результаты стратиграфических исследований сразу же используются при геологическом картировании. Однако в соответствии с утвержденной процедурой приемки листов геологических карт государственной съемки, стратиграфическая основа этих карт должна полностью отвечать принятой Региональным стратиграфическим совещанием и утвержденной МСК унифицированной стратиграфической схеме того или иного крупного региона. Эти схемы разрабатываются для каждой системы отдельно. Работа эта коллективная и производится обычно под руководством наиболее авторитетных специалистов по стратиграфии той или иной системы. Осуществляется это в два этапа.

На первом из них по отдельным системам составляются корреляционные схемы, охватывающие все структурно-фациальные зоны крупного региона, находящегося в сфере действия соответствующего Регионального стратиграфического комитета. Работа эта

чрезвычайно трудоемкая и сложная, так как требует договоренности многих стратиграфов, осуществлявших изучение разрезов отдельных структурно-фациальных зон.

После того, как корреляционная схема составлена, на ее основе разрабатывается унифицированная региональная стратиграфическая схема, учитывающая выявленные в процессе корреляции общие закономерности геологического развития региона и связанные с ними закономерности седиментогенеза и смены по разрезу комплексов ископаемых. Подразделения региональной стратиграфической схемы сопоставляются с подразделениями общей шкалы.

Смонтированные в единую таблицу, унифицированная схема и схема корреляции местных стратиграфических подразделений представляются на рассмотрение комиссий РМСК по каждой системе в отдельности. После их одобрения они докладываются на Региональном стратиграфическом совещании. Принятые совещанием схемы передаются в соответствующие комиссии МСК, а затем утверждаются на Пленуме МСК. Утвержденная региональная стратиграфическая схема публикуется и является той стратиграфической основой, на которой должно вестись государственное геологическое картирование соответствующих территорий. Все уточнения и изменения, необходимость которых может возникнуть по мере поступления новых фактических материалов, должны быть одобрены комиссиями МСК и утверждены Пленумом. Решения Пленумов также публикуются.

## Именной указатель.

**Агассис Жан Луи Рудольф** (1807-1873), швейцарский геолог и зоолог

**Андрусов Николай Иванович** (1861-1924), российский геолог, палеонтолог

**Ардуино Джуованни** (1714-1795), итальянский химик и минералог

**Барранд Йоахим** (1799-1883), геолог и палеонтолог

**Беккерель Анри** ( ),

**Болтвуд Бертрам Борден** (1870-1927), американский физикохимик

**Бронн Генрих Георг** (1800-1862 ), немецкий естествоиспытатель

**Броньяр Александр** (1770-1847), французский натуралист

**Бух Христиан Леопольд фон** (1774-1853), немецкий естествоиспытатель

**Бюффон Жорж Луи Леклерк** (1707-1788), французский естествоиспытатель

**Н.Б. Вассоевич** ( ), советский

**Вернадский Владимир Иванович** (1863-1945), российский геохимик, основатель биогеохимии

**Галлей Эдмунд** (1656-1742), английский астроном

**Геккер Роман Федорович** (1900-1991), советский геолог, палеонтолог

**Гексли Томас Генри** (1825-1895), английский биолог

**Геттон Джеймс** (1726-1797), шотландский геолог

**Дарвин Чарльз** (1809-1882), английский

**Деге П.** ( ), французский конхиолог

**Долло Луи** (1857-1931), бельгийский палеонтолог

**Ковалевский Владимир Онуфриевич** (1842-1883), русский палеонтолог

**Кювье Жорж** (1769-1832), французский естествоиспытатель

**Кюри Пьер** (1859-1906), французский физик

**Лайель Чарльз** (1797-1875), английский естествоиспытатель

**Ламарк Жан Батист Пьер Антуан** (1744-1829), французский естествоиспытатель

**Лейбниц Готфрид Вильгельм** (1646-1716), немецкий философ и естествоиспытатель

**Леонардо да Винчи** (1452-1519),

**Линней Карл** (1707-1778), шведский естествоиспытатель

**Ломоносов Михаил Васильевич** (1711-1765), русский ученый-энциклопедист

**Мейен Сергей Викторович** (1935-1987), российский палеоботаник и стратиграф

**Месежников Михаил Семенович** ( ), советский стратиграф

**Мушкетов Иван Васильевич** (1850-1902), российский геолог

**Ньютон Исаак** (1643-1727), английский физик, астроном и математик

**Оппель Альберт** (1831-1865), немецкий стратиграф и палеонтолог  
**Орбиньи Алсид Дессалин де** (1802-1857), французский палеонтолог  
**Павлов Алексей Петрович** (1854-1929), российский геолог, палеонтолог  
**Паллас Петр Симон** (1741-1811), немецкий естествоиспытатель  
**Пандер Христиан-Генрих Иванович** (1794-1865), российский палеонтолог  
**Резерфорд Эрнест** (1871-1937), английский физик  
**Севергин Василий Михайлович** (1765-1826), российский химик и минералог  
**Смит Вильям** (1769-1839), английский натуралист и инженер  
**Стено Николаус** (1638-1687), датский естествоиспытатель  
**Степанов Дмитрий Леонидович** ( ), советский стратиграф  
**Сулави Жан Луи Жиро** (1750-1813), французский аббат  
**Фюксель Георг Христиан** (1722-1773), немецкий  
**Холмс Артур** (1890-1965), английский геолог  
**Эйнштейн Альберт** (1879-1955), физик-теоретик  
**Юри Гарольд Клейтон** (1893-1981), американский физик и физикохимик

## **Словарь некоторых широко используемых в стратиграфии терминов.**

**Геохронологическая шкала** – последовательный ряд геохронологических эквивалентов стратиграфических подразделений в их таксономической последовательности.

**Геохронологическое подразделение** – интервал относительного геологического времени, в течение которого образовались горные породы, входящие в состав данного стратиграфического подразделения, включая время внутренних перерывов.

**Гиатус** – соответствующий перерыву выпадающий из стратиграфической последовательности интервал.

**Датированный уровень** – поверхность слоя (нижняя или верхняя) или узкий и достаточно четкий интервал разреза, отвечающие существенным изменениям палеонтологических признаков: первому или последнему нахождению таксона, резкому изменению частоты его встречаемости и т.д.

**Общая стратиграфическая шкала** - совокупность общих стратиграфических подразделений (в их полных объемах, без пропусков и перекрытий), расположенных в порядке их стратиграфической последовательности и таксономической подчиненности. Она служит для определений всех других категорий и видов.

**Объем стратиграфического подразделения** (стратиграфический объем подразделения) – максимальный интервал геологического разреза, заключенный между стратиграфическими границами этого подразделения.

**Стандартная зональная шкала (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 и потенциально глобальных корреляций. Стандартные шкалы могут быть разработаны параллельно по разным группам организмов и состоять из выбранных стратиграфических интервалов провинциальных биостратиграфических шкал в объемах системы, отдела или нескольких ярусов. При выделении нескольких параллельных шкал одна из них может быть принята в качестве приоритетной.

**Состав стратиграфического подразделения** – перечень входящих в него более низких по рангу подразделений.

**Стратиграфическая корреляция** – сопоставление пространственно разобщенных стратонов или их частей по геологическому возрасту и (или) по положению в разрезах.

**Стратиграфическая схема** – графическое выражение временных и пространственных соотношений местных и (или) региональных стратон, составляющих полный или частичный разрез (например, одной системы или эратемы) определенного участка земной коры и скоррелированных с Общей стратиграфической шкалой.

**Стратиграфические границы** – поверхности, ограничивающие стратон по подошве (нижняя граница) и кровле (верхняя граница); латеральные границы - пределы географического распространения горных пород, слагающих данный стратон.

**Стратиграфический перерыв** – нарушение непрерывной хронологической последовательности напластования в результате временного прекращения осадконакопления и эрозии ранее образовавшихся отложений в наземных или подводных условиях.

**Стратиграфическое подразделение (стратон)** - совокупность горных пород, составляющих определенное единство и обособленных по признакам, позволяющим установить их пространственно-временные соотношения, то есть последовательность формирования и положение в стратиграфическом разрезе.

**Стратотип** (стратотипический разрез) – конкретный разрез (единый или составной) стратона, указанный и описанный в качестве эталонного.

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

**Стратотипическая местность** (страторегион) – район, в котором находится стратотип и разрезы, дополняющие его характеристику.

**Точка глобального стратотипа границы** – точка, выбранная в конкретном разрезе толщи пород и в определенном географическом районе, являющаяся стандартом для определения нижней границы каждого подразделения Международной стратиграфической шкалы. Практически точка глобального стратотипа границы выбирается для ярусов, нижние границы которых в соответствующих случаях определяют нижние границы отделов и систем.

**Шкала геологического времени (Геохронометрическая шкала)** – последовательный ряд датировок нижних границ стратиграфических подразделений, выраженных в годах и вычисленных с помощью изотопных и других методов.

## Использованная литература.

1. Барабошкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копаевич Л.Ф., Найдин Д.П. Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. Методические рекомендации. М.: Изд-во МГУ. 2002. 163 с.
2. Барабошкин Е.Ю. Конденсированные разрезы: терминология, типы, условия образования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 3. С. 13-20.
3. Бискэ Ю. Прозоровский В.А. Общая стратиграфическая шкала фанерозоя. Венд, палеозой и мезозой: Учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 2001. 248 с.
4. Владимирская Е.В., Кагарманов А.Х. и др. Историческая геология с основами палеонтологии. Л.: Недра, 1985.
5. Веймарн А.Б., Найдин Д.П., Копаевич Л.Ф., Алексеев А.С., Назаров М.А. Методы анализа глобальных стратиграфических событий при детальном стратиграфическом исследовании. Методические рекомендации. М.: Изд-во МГУ. 1998. 189 с.
6. Гладенков Ю.Б. Современные проблемы зональной стратиграфии // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1991. № 10. С. 3-8.
7. Гладенков Ю.Б. Перспективы инфразонального (микростратиграфического) расчленения осадочных толщ // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 4. С. 3-15.
8. Гладенков Ю.Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала ХХХІ века). М.: ГЕОС, 2004. 120 с. (Труды ГИН РАН; Вып. 551).
9. Гладенков Ю.Б. Секвенсстратиграфия: проблемы и недоговоренности. Положение секвенсстратиграфии в стратиграфии // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2009. Т. 84, вып. 4. С. 97-100.
10. Гладенков Ю.Б., Шлезингер А.Е. Сейсмостратиграфический метод и секвентная стратиграфия в совершенствовании стратиграфических схем // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографических реконструкций. М.: ГЕОС, 2001. С. 258-270.
11. Д а р в и н Ч. Происхождение видов. М. - Л.: Гос. изд-во сельхоз. литературы, 1952. 483 с.
12. Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 111 с.

13. Жамойда А.И., Ковалевский О.П., Моисеева А.И. Стратиграфические кодексы. Теория и практическое использование. СПб.: ВСЕГЕИ, 1996. 143 с.
14. Зубаков В.А. Ритмостратиграфические подразделения. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 71 с.
15. Зубкович М.Е. Методы палеонтолого-стратиграфических исследований. Основы биостратиграфии. М.: Высшая школа. 1968. 232 с.
16. Количественная стратиграфическая корреляция / Под ред. Д. Кубитта, Р. Реймента. М.: Мир, 1985. 376 с.
17. Красилов В.А. Эволюция и биостратиграфия. М.: Наука, 1977. 256 с.
18. Красилов В.А., Зубаков В.А., Шульдинер В.И., Ремизовский В.И. Экостратиграфия: Теория и методы. Владивосток: Изд-во Дальневост. Научного центра АН СССР. 1985. 148 с.
19. Левен Э. Я. Основы стратиграфии. М.: МГРИ, 1989. 82 с.
20. Леонов Г.П. Основы стратиграфии. М.: МГУ, 1972. Т. 1. 530 с.; 1974. Т. 2. 486 с.
21. Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии. – ГИН АН СССР, ВИНТИ, № 1749-74, Деп. М.: 1974.
22. Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии М.: Наука, 1989. 216 с.
23. Меннер В.В. Биостратиграфические основы сопоставления морских, лагунных и континентальных свит. М.: АН СССР, 1962. 373 с.
24. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. Ч. 1: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1997. 448 с.
25. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1997. 180 с.
26. Никитин А.А., Петров А.В., Зиновкин С.В. Развитие статистических приемов обработки и интерпретации геофизических полей в компьютерной технологии КОСКАД 3D // Известия вузов. Геология и разведка. 2007, № 6. С. 68-74.
27. Подобина В.М., Родыгин С.А. историческая геология. Учебное пособие. Томск. Изд-во НТЛ. 2000. 264 с.
28. Практическая стратиграфия / Под ред. И.Ф. Никитина, А.И. Жамойды. Л.: Недра, 1984. 320 с.
29. Прозоровский В.А. Начала стратиграфии. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та. 2003. 228 с.

30. Рич П.В., Рич Т.Х., Фентон М.А. Каменная книга. Летопись доисторической жизни. М.: МАИК “Наука”. 1997. 623 с.
31. Симаков К.В. На пути к теоретической стратиграфии. Магадан: ДВО СВНЦ РАН, 1997. 180 с.
32. Симаков К.В. Введение в теорию геологического времени. Магадан: ДВО СВНЦ РАН, 1999. 556 с.
33. Соколов Б.С. Экостратиграфия, ее место и роль в современной стратиграфии // Теория и опыт экостратиграфии. Таллинн: Валгус, 1986. С. 9-18.
34. Степанов Д.Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований // Тр. ВНИГРИ. 1958. Вып. 113. 180 с.
35. Степанов Д.Л., Месежников М.С. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований). Л.: Недра, 1979. 421 с.
36. Стратиграфический кодекс России. 3-е изд., СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
37. Халфин Л.Л. Теоретические вопросы стратиграфии. Новосибирск: Наука, сиб. отд. 1980. 200 с.
38. Харленд У.Б., Кокс А.В., Ллевёллин П.Г. и др. Шкала геологического времени. М.: Мир. 1985. 140 с.
39. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комисарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.
40. Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. М.: Научный мир, 1998. 143 с. (Тр. ГИН. Вып. 512).