

В. И. АСТАХОВ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОЛОГИЯ

*суши*



УДК 551(075.8)

ББК 26.323

A91

Рецензенты: д-р геол.-минерал. наук *И.Д. Зольников* (Новосибирский гос. ун-т); канд. геогр. наук *Г.Б. Федоров* (Ин-т наук о Земле С.-Петерб. гос. ун-та)

*Рекомендовано к печати*  
*УМК по УГСН 05.00.00 Науки о Земле*  
*Санкт-Петербургского государственного университета*

**Астахов В. И.**

A91 Четвертичная геология суши: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2020. — 440 с.  
ISBN 978-5-288-06082-3

В учебном пособии рассматриваются способы, приемы и результаты изучения геологическими методами четвертичных отложений и последних 2,6 млн лет истории земной поверхности. Подробно рассматриваются диагностические критерии выделения и картирования главных генетических типов континентальных отложений, характерных для территории России. Излагаются современные представления о палеоклиматической ритмике и ее проявлении в природной зональности и осадочной летописи крупных континентальных регионов. В контексте новейшей геологической истории рассмотрены следы направленной эволюции биоты и антропогенеза.

Издание адресовано магистрантам, аспирантам, молодым исследователям и специалистам-практикам.

УДК 551(075.8)  
ББК 26.323

ISBN 978-5-288-06082-3

© Санкт-Петербургский  
государственный  
университет, 2020  
© В. И. Астахов, 2020

# Оглавление

Предисловие.....	7
<b>Глава 1. Общее понятие о четвертичной геологии .....</b>	<b>9</b>
1.1. Предмет изучения.....	9
1.2. Климатическая ритмика четвертичного периода.....	18
1.2.1. Признаки глобальных климатических ритмов .....	18
1.2.2. Орбитальная теория климатических колебаний.....	20
1.2.3. Земной усилитель колебаний теплообеспеченности.....	24
1.3. Классификация четвертичных образований.....	27
1.3.1. Главные черты четвертичного покрова.....	27
1.3.2. Системность геологических карт .....	30
1.3.3. Генетический принцип классификации.....	32
1.3.4. Систематика генетических типов континентальных четвертичных отложений.....	34
<b>Глава 2. Главные генетические типы континентальных отложений.....</b>	<b>38</b>
2.1. Элювиальные образования (элювий).....	38
2.2. Склоновые образования .....	40
2.2.1. Коллювиальные отложения (коллювий).....	41
2.2.2. Оползневые отложения (деляпсий).....	44
2.2.3. Десерпционные отложения (десерпций).....	45
2.2.4. Солифлюкционные отложения (солифлюксий).....	47
2.2.5. Делювиальные отложения (делювий).....	49

2.3. Речные образования .....	50
2.3.1. Геологическая работа реки .....	53
2.3.2. Равнинный аллювий .....	54
2.3.3. Горный аллювий .....	71
2.3.4. Перигляциальный аллювий .....	77
2.3.4. Пролувий .....	81
2.4. Озерные отложения (лимний).....	86
2.5. Болотные отложения.....	89
2.6. Геологическая работа ледников.....	94
2.6.1. Ледниковая теория.....	95
2.6.2. Свойства льда и причины его движения.....	97
2.6.3. Типы ледников и формы их движения.....	98
2.7. Ледниковые отложения.....	109
2.7.1. Основная морена .....	110
2.7.2. Абляционная морена .....	119
2.7.3. Краевые морены .....	121
2.8. Ледниково-морские отложения.....	124
2.9. Водно-ледниковые образования.....	128
2.9.1. Флювиогляциальные отложения .....	130
2.9.1.1. Приледниковые флювиогляциальные отложения.....	131
2.9.1.2. Внутрiledниковые флювиогляциальные отложения.....	139
2.9.2. Катафлювиальные отложения .....	146
2.9.3. Лимногляциальные отложения .....	149
2.9.3.1. Приледниковые ледниково-озерные отложения.....	150
2.9.3.2. Внутрiledниковые ледниково-озерные отложения.....	154
2.9.3.3. Строение ледникового осадочного комплекса .....	159
2.10. Гляциотектоника .....	162
2.10.1. Тангенциальная гляциотектоника .....	163
2.10.2. Радиальная гляциотектоника .....	171
2.11. Криогенные образования .....	179

2.12. Эоловые отложения.....	196
2.12.1. Переветные отложения .....	199
2.12.2. Навейные отложения.....	205
2.12.3. Субэральная формация .....	212
<b>Глава 3. Историко-геологические результаты .....</b>	<b>216</b>
3.1. Методы изучения четвертичных образований .....	216
3.1.1. Выбор методов исследования.....	216
3.1.2. Собственно геологические методы .....	219
3.1.3. Роль палеонтологических методов .....	226
3.1.4. Методы дальней корреляции.....	231
3.2. Основы стратиграфии четвертичной системы.....	236
3.2.1. Принципы измерения геологического времени .....	236
3.2.2. Типы стратиграфических подразделений .....	239
3.2.3. Общие подразделения.....	241
3.2.4. Местные стратиграфические подразделения .....	248
3.2.5. Региональные подразделения.....	251
3.3. Стратиграфия квартала суши Западной Европы и Северной Америки .....	255
3.3.1. Альпийская шкала.....	255
3.3.2. Современная стратиграфия плейстоцена Северной Европы.....	258
3.3.3. Стратиграфия внеледниковой области.....	269
3.3.4. Позднеледниковье и голоцен Северной Европы .....	276
3.3.5. Северная Америка .....	286
3.4. Четвертичная стратиграфия Русской равнины .....	294
3.4.1. Область южных морских трансгрессий.....	295
3.4.2. Лессовая область.....	301
3.4.3. Ледниковая область .....	310
3.5. Проблемы четвертичной истории Русского Севера .....	331
3.5.1. Северный плейстоцен.....	331
3.5.1.1. Структура и происхождение формации .....	331
3.5.1.2. Главные реперы древнеледниковой истории равнин .....	342
3.5.1.3. Последний ледниковый цикл .....	353

## 6 *Оглавление*

3.5.2. Горное оледенение.....	359
3.5.3. Перигляциальная область .....	363
3.6. Эволюция природной среды в четвертичное время.....	372
3.6.1. Изменения рельефа суши .....	372
3.6.2. Изменения природной зональности.....	378
3.6.3. Изменения в растительном и животном мирах .....	390
3.6.4. Антропологические изменения.....	397
<b>Список иллюстраций .....</b>	<b>410</b>
<b>Список таблиц .....</b>	<b>420</b>
<b>Литература .....</b>	<b>421</b>

# Предисловие

Книга, представленная вашему вниманию, содержит свод базовых знаний о способах и результатах исследования последнего этапа геологической истории суши, представленный в общедоступной иллюстрированной форме. Работа наследует структуру и частично содержание предыдущего, меньшего по объему и содержанию пособия по четвертичной геологии для студентов-геологов [Астахов, 2008]. Настоящее же издание задумано в помощь магистрантам, аспирантам и молодым специалистам. Соответственно, увеличен объем текста, особенно за счет обильного иллюстративного материала. Книга снабжена обширным списком литературы, в котором читатель может самостоятельно выбрать интересующие его темы. Вот почему это скорее учебное пособие, нежели учебник. Книгу ни в коей мере не стоит рассматривать как универсальный справочник по всем объектам четвертичной геологии, поскольку ввиду ограниченности объема пришлось ограничиться рассмотрением наиболее значимых геологических образований.

Наука о четвертичном периоде истории Земли велика и многообразна, а все ее содержание не помещается даже на 3888 страницах четырехтомной «Энциклопедии науки о четвертичном периоде» [Encyclopedia..., 2013]. Опущенная здесь геология морей и океанов составляет особую область знания и изучается в специальных курсах, причем не обязательно с упором на историю последних 2,6 млн лет. Ввиду специфики почти непрерывной океанической седиментации многие морские геологи не видят четкой границы между плиоценом и плейстоценом или принципиальной разницы между методами изучения четвертичной и неогеновой систем.

Вряд ли найдется сухопутный геолог, который подпишется под таким заключением. Четвертичный период выделяется среди остальных этапов мезокайнозоя ярко выраженной геократичностью. Вся суть четвертичной геологии, отличающей ее от других дисциплин, занимающихся фанерозоем, заключается именно в детальном исследовании континентальных отложений специфическими методами; поэтому автор ограничил свою задачу описанием ключевых признаков наиболее часто встречающихся на территории России приповерх-

ностных геологических объектов и принципов их изучения. С такими объектами, которым посвящена физико-геологическая глава 2, интересующиеся предметом молодые исследователи в основном и будут иметь дело в своей практике. Эта концепция, помноженная на стремление осовременить базу необходимых данных, больше всего повлияла на содержание данной работы.

Другая особенность публикации заключается в относительной лапидарности текста, нацеленного на диагностику изучаемых объектов. Известные фундаментальные работы на эту тему, с одной стороны, чересчур подробны для начинающего исследователя, а с другой стороны, как правило, имеют выраженный академический характер. Настоящее же пособие рассчитано в основном на исследователей, непосредственно связанных с полевым изучением приповерхностных пород. Способствовать этому и призван весь большой по объему корпус иллюстраций. Опыт показывает, что освоение приемов изучения объектов четвертичной геологии скорее достигается визуальными образами конкретных объектов, чем пространными стратиграфическими и палеогеографическими рассуждениями.



# Глава 1

## ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

### 1.1. Предмет изучения

В задачу этой книги входит ознакомление с методами и результатами изучения последней главы геологической истории суши и связанных с ней горных пород. Обычно ее называют *четвертичным периодом*, или *Quaternary* в международной терминологии. Экономическое значение геологических тел, образовавшихся в четвертичное время, весьма велико. Они представляют основной субстрат человеческой деятельности, включая стройматериалы и источники пресной воды. Поэтому уже с начала XIX века поверхностные горные породы выделялись в особую *четвертичную геологическую систему (квартер)*, понятие которой ввел Ж. Денуайе в 1829 году. Этот термин унаследован от естествоиспытателей XVIII века, деливших горные породы на первичные, вторичные, третичные и четвертичные. В советской литературе использовалось также предложенное А. П. Павловым название *антропоген*, которое подчеркивает, что это время появления и развития человечества. В связи с этим четвертичная геология изучается отдельно от прочей исторической геологии — это наше время, которое и лучше всего изучено, и интересует человечество гораздо больше, чем время трилобитов или аммонитов. В главе 1 обсуждаются основные задачи, принципы и приемы изучения четвертичной системы с упором на континентальные образования [Астахов, 2008].

Четвертичный период завершает историю глобального кайнозойского похолодания, начавшегося в конце палеогена. Палеонтологически он тесно связан с органическим миром неогена, поэтому принятое по соглашению геологов положение его нижней границы неоднократно менялось. Одни геологи считали начальным событием четвертичного периода появление холодноводной фауны в Средиземном море, другие — фораминифер вида *Globorotalia truncatulinoides* в океане, третьи — ледниковых покровов. Возникновение родов *Homo* и *Mammuthus* для нас, обитателей суши, более важно, хотя использовать эти находки для определения геологического возраста очень трудно ввиду их редкости. Ледниковые явления, видимо, лучше подходят для обособления чет-

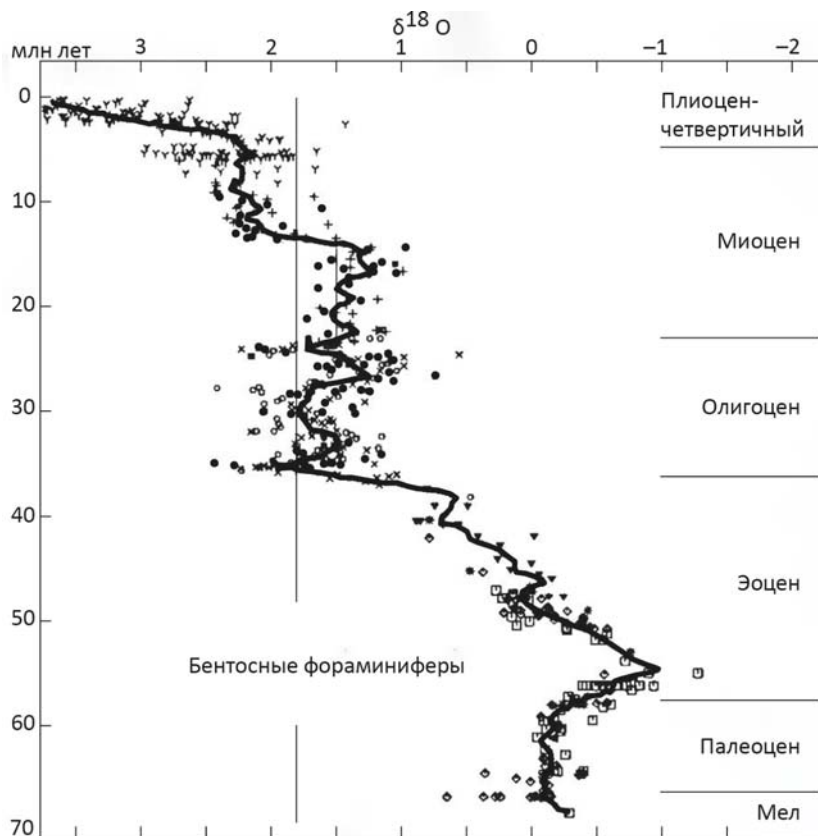


Рис. 1.1. Изотопно-кислородная кривая, по данным анализа донных фораминифер Атлантики, отражающая изменение климата с конца мелового периода. Источник: [Duff, 1993]. Значками показаны отдельные колонки донных отложений; слева от вертикальной линии — интервал распространения ледниковых покровов

вертичного времени в высоких широтах, а биологические больше применимы в тропиках и субтропиках.

Климатическую обособленность завершающего геологическую историю четвертичного периода (вместе с плиоценом) можно видеть на графике примеси тяжелого изотопа кислорода  $^{18}\text{O}$  в раковинах фораминифер, найденных в донных илах Атлантического океана (рис. 1.1). Содержание  $^{18}\text{O}$  увеличивается с падением уровня океана и охлаждением его воды.

В СССР долгое время границу четвертичного периода проводили в основании бакинской трансгрессии Каспия на уровне примерно 0,7 млн лет назад, что необходимо иметь в виду при чтении научной литературы советского времени. Российская геологическая служба в 1990-х годах перешла на меж-

дународный стандарт нижней границы на уровне 1,8 млн лет назад, а позже и на уровне 2,6 млн лет назад, принятом Международным геологическим конгрессом в 2008 году.

Четвертичная геология — это часть науки о четвертичном периоде (Quaternary Science). Помимо геологов в эти многообразные исследования вовлечены палеобиологи, геоморфологи, почвоведы, океанологи, климатологи, мерзлотоведы, гляциологи и даже археологи, а также разработчики всевозможных физико-химических методов и специалисты по компьютерному моделированию природных процессов. Семь международных и еще больше национальных журналов публикуют только статьи о четвертичном периоде. Научные публикации о четвертичном периоде регулярно появляются также в общегеологических и географических журналах. Международный союз по изучению четвертичного периода *INQUA* (International Union for Quaternary Research) каждые четыре года собирает тысячи участников на свои конгрессы независимо от общегеологических. В исследованиях новейшей истории Земли занято гораздо больше ученых, чем в любой другой геологической дисциплине, поэтому это наиболее быстро прогрессирующая ветвь изучения естественной истории. Ее главные достижения с обзором всех многочисленных используемых методов исследования сведены в четырехтомную международную «Энциклопедию науки о четвертичном периоде» [Encyclopedia..., 2013].

На эти исследования тратятся огромные средства во всем мире, во многом из-за практического интереса к рыхлому осадочному покрову. По объему четвертичных пород, которыми сплошь покрыты великие равнины Русской плиты, Прикаспийской впадины, огромных Западно-Сибирской и Северо-Сибирской низменностей, Россия не имеет себе равных. К сожалению, европейские страны с гораздо меньшим объемом четвертичных пород в последнее время далеко обогнали Россию по масштабу и уровню их исследования.

Так было не всегда. Еще в 1932 году во время Второго конгресса Европейской ассоциации по изучению четвертичного периода в Ленинграде отечественные геологи задавали тон, предъявив научной общественности первую карту четвертичного покрова Европейской части СССР под редакцией С. А. Яковлева. Лидирующее положение отечественная четвертичная геология сохраняла в 1960–1970-х годах, когда Геологической службой в обязательном порядке составлялись карты четвертичных отложений среднего и мелкого масштаба, что стимулировало приток кадров в эту область. В нашей огромной стране такие карты играют совершенно особую, не только научную, но и хозяйственную роль. Ниже будут рассмотрены именно отечественные принципы изучения четвертичных отложений, которые необходимо знать, чтобы читать и использовать многочисленные карты четвертичных образований.

Многообразная активность в изучении четвертичного периода обусловлена не только практической потребностью разных дисциплин в региональных данных о короткопериодических вариациях климата и свойствах

поверхностных отложений, но и общецивилизационным устремлением к познанию роли резких изменений природной среды в развитии человечества и биосферы в целом. Особенно это заметно в последние 30 лет, с тех пор как человечество озаботилось будущим природной среды, а техногенная активность стала вызывать серьезные опасения даже у сторонников ее неограниченного роста. Для прогноза ее ближайших и отдаленных последствий требуются надежные модели реакции биосферы на различные экстремальные воздействия. Построить такие модели можно только на основе точных знаний о поведении природной системы в недавнем прошлом. Именно изучая феномены последнего отрезка геологического времени, можно с максимально возможной полнотой выяснить механизмы работы биосферы и ее компонентов, то есть понять, как устроено наше местообитание, и научиться оберегать его от природных случайностей и собственной неосторожности.

Четвертичная геология является необходимым связующим звеном между исследованиями физико-геологических (современных) процессов на земной поверхности и актуалистическим применением полученных знаний к расшифровке геологической истории всего фанерозоя и даже докембрия. Главные достижения седиментологии, вулканологии, сейсмо тектоники, геокриологии и других ветвей динамической геологии связаны именно с природными объектами четвертичного возраста. Как было понято еще в XIX веке, «исследование наносов, при всей своей простоте, имеет, однако, и свои трудности и прежде всего требует специальной, преимущественно физико-географической (или физико-геологической) подготовки» [Кропоткин, 1876, с. 398]. Вряд ли можно назвать натуралистом человека, лишенного элементарных знаний о четвертичном периоде. Корифеи отечественной геологии А. Д. Архангельский, А. А. Иностранцев, И. В. Мушкетов, С. Н. Никитин, В. А. Обручев, А. П. Павлов, Е. С. Федоров, Ф. Н. Чернышев, С. А. Яковлев и многие другие глубоко вникали в вопросы четвертичной геологии, решив ряд важных проблем в этой области.

По этим причинам базовые знания четвертичной геологии необходимы не только геологу, но и любому исследователю, изучающему естественную историю Земли. Во всех признанных университетах мира имеются кафедры, отделения или специализации по четвертичной геологии. Россия, как и в некоторых других аспектах, является здесь исключением. Несмотря на то, что объем четвертичных отложений и связанных с ними экономических интересов в России несравненно больше, чем в любой другой стране, подготовки специалистов в этой области в нашей стране официально не существует. Множество проблем и ошибочных решений связано с тем, что исследования четвертичных образований часто выполняются геологами других специальностей или даже мерзлотоведами.

Тем не менее, карты четвертичных образований до сих пор являются обязательным компонентом в любом комплекте государственных геологических

карт мелкого и среднего масштаба. К сожалению, в последние десятилетия их качество заметно упало ввиду недостатка подготовленных специалистов для их квалифицированного построения. Более или менее достойный уровень знаний о четвертичном периоде поддерживается в Центральной и Южной России, в основном это происходит благодаря деятельности геологов старшего поколения. Из-за отсутствия специалистов крайне слабо изучены огромные территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Довольно сложной выглядит ситуация на Русском Севере, где требуются большие трудовые ресурсы и финансовые затраты. В последнюю четверть века большой объем новых результатов в Русской Арктике и Субарктике был получен благодаря совместным работам с исследователями из Западной Европы, оснащенными новейшей лабораторной техникой, малодоступной отечественным ученым.

В организации исследований новейшей геологической истории ситуация стала напоминать первую половину XIX века, когда мы вынуждены были приглашать специалистов с Запада. Тем не менее, основы четвертичной геологии современным естествоиспытателям и геологам-практикам надо знать хотя бы для того, чтобы использовать тексты и карты, созданные другими учеными.

Четвертичная геология изучает события последнего отрезка истории Земли, которые привели к формированию специфического геологического объекта — чехла поверхностных отложений. Другие феномены того же отрезка времени, например развитие рельефа, биоты, вариации температуры и состава гидросферы, эволюция гоминид, история человеческих культур, являются предметами других дисциплин, таких как геоморфология, гляциология, палеоокеанология, палеонтология, палеоантропология и др. Результаты этих и других смежных наук, безусловно, вносят большой вклад в четвертичную геологию, которая, однако, призвана давать собственный фундаментальный результат — систематизированное по возрасту описание недавних геологических событий в разнообразных географических условиях. По отношению к нему другие естественно-научные дисциплины носят характер методов исследования.

Из собственно геологических методов наибольшую роль в четвертичной геологии играют изучение условий залегания поверхностных минеральных масс (структурная геология), седиментология, фациальный анализ и лежащая в их основе динамическая геология — анализ современных физико-геологических процессов, в первую очередь осуществляемых поверхностными водами, льдом, ветром, крупными гравитационными смещениями минеральных масс. Именно от данных динамической геологии больше всего зависят историко-геологические выводы, получаемые при изучении покрова четвертичных отложений.

Постепенное обособление четвертичной геологии от остальных историко-геологических дисциплин в течение последнего столетия произошло естественным путем из-за своеобразия используемых методов исследования и по-

лучаемых результатов. Дело в том, что в четвертичной геологии применяются не только обычные геологические методы изучения состава, взаимного расположения пород, их физико-химических и палеонтологических характеристик, но и гораздо более тонкие и точные способы реконструкции обстановок осадконакопления и их датирования, не применимые к более древним породам. В первую очередь это геокриологические, педологические, археологические, изотопные, микропалеонтологические, молекулярно-биологические и другие методы детальной расшифровки недавней геологической истории. Получающиеся при этом результаты нередко дают представление о последовательности природных изменений длительностью в тысячи и даже сотни лет, то есть с точностью, не доступной для дочетвертичной геологии и приближающейся к детальности исследования человеческой истории.

Как у любой науки, у четвертичной геологии есть предмет и объект. **Объект** — это все материальные тела, то есть горные породы и органические остатки, образовавшиеся на последнем этапе геологической истории. Главной задачей изучения этого объекта является расчленение четвертичного покрова по возрасту и способам его образования и на этой основе — реконструкция географических условий, геологических процессов и минерации недавнего прошлого. **Предмет** — это сумма наличных знаний о строении и происхождении объекта, то есть о структуре четвертичных образований, истории четвертичного периода и способах их изучения. Все четвертичные породы с их органическими остатками формируют последнюю геологическую систему, которая морскими геологами иногда объединяется с неогеном, поскольку в морских разрезах, в отличие от сухопутных, резкая граница между четвертичным и дочетвертичным органическими мирами часто слабо заметна.

Четвертичный период (и система) делятся на две неравные части: **плейстоцен** и **голоцен**. К голоцену относится отрезок геологической истории от конца последнего оледенения до настоящего времени. По астрономической шкале, или, как еще выражаются, в «календарных годах» это примерно 11,7 тыс. лет. Все остальное — это плейстоцен.

Голоцен выделяется и изучается отдельно, существует даже международный журнал *The Holocene*, где публикуются статьи только по последнему отрезку геологической истории. Такое внимание голоцену уделяется в связи с бурным развитием в это время человеческой цивилизации, с миграциями народов и т. д. В этом случае история природы сливается с обычной гуманитарной историей, недавними экологическими катастрофами и т. п. Природа в голоцене менялась не очень значительно, а для изучения отрезков голоцена длиной в сотни лет геологические методы обычно недостаточно точны. Вот почему геологи (в отличие от археологов и биологов) голоценом занимаются меньше, а основные геологические достижения связаны с изучением плейстоцена, то есть древних четвертичных эпох, когда природа очень отличалась от современной.

**Главные особенности четвертичного периода.** Вполне очевидно, что это **геократический** период, когда большая часть континентальных масс была сушей. Большие массивы суши блокировали систему океанических течений, а потому климат в полярных и тропических широтах стал резко отличаться. Такие периоды бывали и раньше, например в перми. Напротив, в талассократические периоды, когда уровень Мирового океана был гораздо выше, мелкие моря покрывали огромные площади континентов, а климат был однообразно океаническим от экватора до полюса. Типичными талассократическими периодами были мел и ранний палеоген.

Не менее очевидно, что четвертичный период — это **ледниковый** период. Такие времена, когда большие пространства покрывались материковым льдом, бывали и раньше: в архее, протерозое, ордовике, пермо-карбоне; их часто называют гляциоэрами. Четвертичный период является частью кайнозойской гляциоэры. Однако в предыдущие периоды на суше не было рода *Ното* и других характерных родов крупных млекопитающих, таких как мамонты. Если признавать четвертичный период **антропогенным**, то есть временем человеческого рода, то после появления человекообразных рода *Ното* нижняя граница четвертичного периода на уровне около 2,6 млн лет назад выглядит вполне логичной.

И, наконец, четвертое фундаментальное свойство четвертичного периода — это **частые и резкие колебания глобального климата**. Они проявлялись в чередовании ледниковых и межледниковых эпох, иначе говоря, эпох с природной обстановкой современного типа (межледниковья) и эпох, когда льды на суше и море занимали гораздо большую площадь (ледниковья). В ледниковые льды распространялись из Арктики в умеренные широты и покрывали до 30 % современной суши (рис. 1.2). В самые теплые межледниковья ледники все же покрывали 10 % суши (сейчас они занимают 11 %). Это значит, что любые четвертичные эпохи все равно были в ледниковом периоде за счет Антарктиды и частично Гренландии, где ледники сохранялись весь плейстоцен. В Антарктиде они появились в олигоцене, когда в северном полушарии еще царил теплый климат. Это свойство четвертичного периода наиболее важно для его периодизации.

Время в четвертичной геологии отсчитывается по чередованию ледниковых и межледниковых эпох, которые сменялись каждые 100–150 тыс. лет (рис. 1.3). На графике видно, что продолжительность эпох с климатом холоднее современного гораздо больше, а межледниковья с климатом современного типа или теплее продолжались только по 10–20 тыс. лет. За последние 600 тыс. лет всего лишь четыре раза случались кратковременные эпохи с климатом мягче современного. В разных частях планеты глобальные климатические изменения проявлялись по-разному. Например, при наступлении ледниковых эпох планетарная среднегодовая температура воздуха снижалась примерно на 5 °С. Однако на экваторе холодало всего на 3–4 °С, что недостаточно

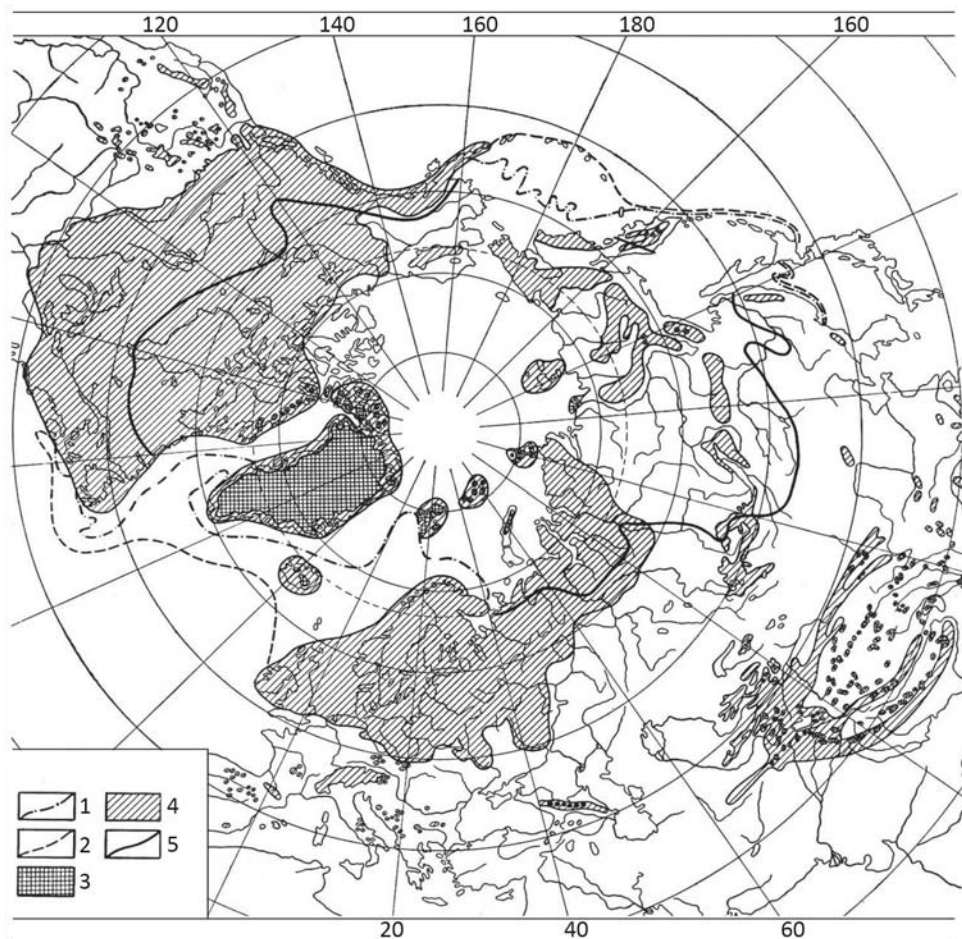


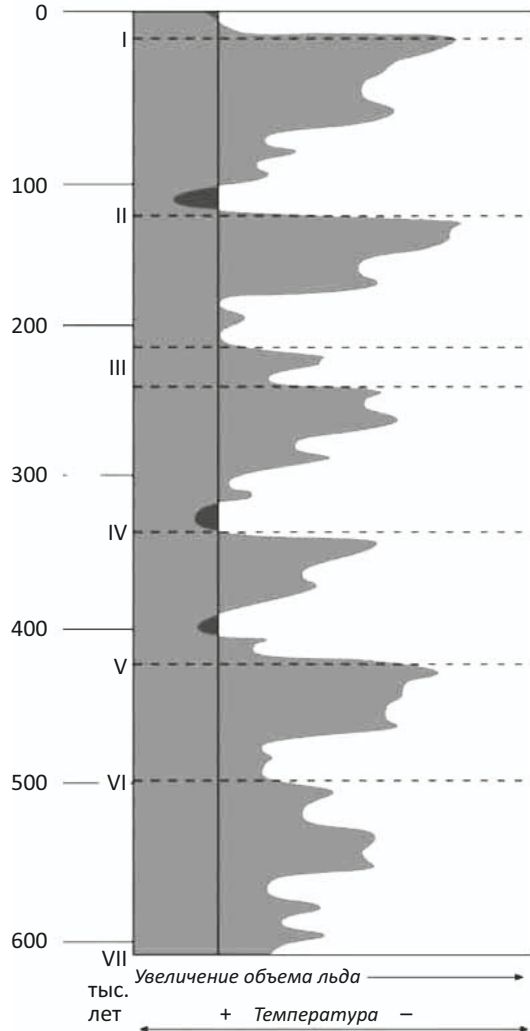
Рис. 1.2. Максимальное распространение льдов Северного полушария в плейстоцене. Источник: [Марков и др., 1965]. 1 — граница современных морских льдов; 2 — граница плейстоценовых морских льдов; 3 — современные ледники; 4 — древние ледники на суше; 5 — граница современного подземного оледенения (вечной мерзлоты)

для заметных изменений природной среды. В Северной Европе годовые температуры падали на 12–15 °С, что приводило к появлению ледниковой пустыни на месте современных широколиственных лесов. Понятно, что в Антарктиде в межледниковья царил мороз до 70 °С.

Однако есть общий знаменатель, или показатель глобального климата, который можно использовать во всех частях света. Это *уровень Мирового океана*, напрямую связанный с объемом льда: чем больше его на суше, тем меньше воды остается в океане, и наоборот. Если растопить все современные ледники, то уровень океана поднимется на 60–70 м, то есть большинство населенных



Рис. 1.3. Колебания объема льдов на суше во вторую половину четвертичного периода, по данным кислородно-изотопного анализа океанических илов. Источник: [Broecker, Denton, 1990]. Вертикальная линия указывает современное соотношение изотопов кислорода и объем ледников. Увеличение содержания тяжелого изотопа кислорода указано слева направо. Римскими цифрами обозначены терминации оледенений



мест окажется на дне моря. В межледниковые эпохи плейстоцена уровень океана иногда поднимался на 5–10 м выше современного. В ледниковые эпохи он падал на 130–150 м ниже современного уровня, что означало осушение огромных пространств внутреннего шельфа. Азия оказывалась соединенной сухопутными мостами с Америкой и Малайским архипелагом. Это сильно отражалось на климате — в межледниковья климат был более морским, то есть влажным, с относительно теплой зимой. В ледниковья он становился резко континентальным, сухим, с очень морозными зимами.

О природных условиях четвертичного периода мы узнаем, изучая их материальные следы в горных породах. В следующей главе будут рассмотрены

главные признаки основных объектов четвертичной геологии, а именно типов континентальных отложений, покрывающих не только материка, но и большие площади континентальных шельфов. Здесь специально не рассматривается строение морских отложений, занимающих огромные пространства океанического дна и узкие полосы прибрежной суши. Они имеют важнейшее историко-геологическое значение, но ввиду обширности предмета рассмотреть их на сколько-нибудь приемлемом уровне в объеме настоящей книги не представляется возможным. Тем более что им посвящено множество специальных руководств и монографий, не всегда связанных с четвертичной системой. В этой книге морские образования освещаются лишь в стратиграфическом и палеогеографическом аспектах как важные этапы четвертичной истории.

## 1.2. Климатическая ритмика четвертичного периода

### 1.2.1. Признаки глобальных климатических ритмов

Как показано в разделе 1.1, в четвертичное время температура поверхности планеты стремительно менялась; при этом каждые 100 тыс. лет (а в раннем плейстоцене и каждые 40 тыс. лет) уровень Мирового океана резко колебался (на 130–150 м). Такие частые изменения природной обстановки должны были сильно повлиять на растительность, животный мир и развитие человечества. С геоисторической точки зрения важно, что эти изменения отличались повторяемостью через определенные промежутки времени, то есть ритмичностью.

На графиках объема льда на планете (см. правую часть рис. 1.3) можно видеть несколько почти одинаковых постепенных нарастаний с остановками и отступлениями вплоть до достижения пиковых значений. После них происходит быстрое падение объема льда на суше, то есть распад ледников, сопровождающийся таким же быстрым подъемом уровня океана. Последний такой подъем начался 20 тыс. лет назад и с тех пор уровень моря повысился на 130 м, что очень быстро для геологических процессов. Эта трансгрессия называется **фландрской** по имени низменности в Нидерландах, где она оказалась наиболее заметной. Природа этой трансгрессии — **гляциоэвстатическая**, то есть обусловленная увеличением объема воды в океанах в связи с таянием ледников. Во время глобальных похолоданий происходят гляциоэвстатические регрессии, обусловленные связыванием в ледниках суши испарившейся воды океанов. Регрессии развиваются медленнее и сопровождаются эпизодами возврата к высоким уровням океана. Полный круг природных изменений от начала межледниковья через его максимум к пику оледенения и обратно называется **ледниковым циклом**, а повторяемость такого круга событий на протяжении длительного геологического времени — **палеоклиматической ритмичностью**.

Это явление исключительно важно, потому что на этой ритмичности основан счет времени в четвертичном периоде.

Теоретически предполагавшиеся глобальные климатические ритмы сначала были доказаны бурением океанических илов, которые в глубоководных частях океана откладывались непрерывно на протяжении всей его истории. По кернам глубоководных колонок были получены непрерывные разрезы с определением фауны фораминифер и измеренными геохимическими параметрами, такими как содержание органического углерода, редких элементов и т.д. Ключевые же палеоклиматические результаты получены **кислородно-изотопным методом**, а именно измерением содержания стабильных изотопов кислорода. На поверхности Земли, где господствуют окислительные обстановки, кислород является наиболее распространенным элементом в составе любых минеральных и органических соединений.

Для исторической геологии важно, что кислород на планете состоит преимущественно из двух стабильных изотопов: обычного  $^{16}\text{O}$  и тяжелого  $^{18}\text{O}$ , у которого на два нейтрона в ядре больше. Тяжелого изотопа очень мало, примерно 1/500 часть, но и эта малая доля испытывает вариации во времени. Для их регистрации в зависимости от измеряемого вещества за ноль принимается либо SMOW (Standard Mean Ocean Water — среднее значение изотопного состава воды в современном океане), либо PDB (Pee Dee Belemnite — изотопный состав карбоната белемнитовой раковины из меловых отложений Южной Каролины). Отклонения от этих стандартных значений представляются в виде кривых  $\delta^{18}\text{O}$  (в промилле). В морской геологии чаще всего измеряется карбонатный кислород в раковинках фораминифер. Когда в 1950-х годах Ч.Эмилиани (С. Emiliani) получил кривые этих вариаций, то вначале решили, что они зависят от среднегодовой температуры воды, что изобретен геологический «термометр».

Впоследствии оказалось, что вариации среднего изотопного состава больше связаны с объемом воды в океанах, а значит, и с **объемом льда** на суше. Причина этого состоит в том, что в круговороте воды происходит фракционирование изотопов кислорода. При испарении в атмосферу попадает больше легкого изотопа  $^{16}\text{O}$ , который со снегом потом входит в состав ледников, а в океане остается больше тяжелого изотопа  $^{18}\text{O}$ . Следовательно, чем больше льда на суше, тем тяжелее изотопный состав океанической воды, поэтому кислородно-изотопные кривые четко отражают ритмичные изменения суммарного объема льда на суше. Такие кривые по океаническим осадкам получены не только для последних 600 тыс. лет (см. рис. 1.3), но и для более древних эпох. А поскольку эти кривые аналогичны для разных частей Земли, можно быть уверенным, что ритмические изменения объема льда на планете имеют какую-то общую причину.

### 1.2.2. Орбитальная теория климатических колебаний

Еще в XIX веке естествоиспытатели интересовались причинами палеоклиматической ритмики. Было выдвинуто множество гипотез, включая астрономические и плутонические, но большинство их не могло удовлетворительно объяснить регулярность и глобальность климатических колебаний. Только орбитальная теория палеоклиматической ритмичности выдержала испытание временем. Суть ее проста: начало и конец каждой ледниковой эпохи (а также любой эпохи глобальных изменений климата) вызвана совпадением небольших колебаний некоторых параметров небесной механики, регулирующих приход солнечной энергии на Землю. Эта идея возникла еще в XIX веке, но в астрономических вычислениях долго не удавалось найти таких совпадений, которые бы убедили геологов в реальности механизма.

В современном виде начало орбитальной теории (1939) связано с именем сербского математика Милутина Миланковича, который в начале XX столетия опубликовал вычисления прошлых изменений инсоляции на 55, 60 и 65° с. ш. в зависимости от колебаний трех орбитальных параметров. Он впервые сравнил полученные графики с ритмикой оледенений и межледниковий в Европе и использовал их для определения астрономического возраста альпийских оледенений.

Поскольку количество инсоляции в каждой точке поверхности Земли по Ньютону зависит от ее расстояния от Солнца и угла падения солнечных лучей, то на сумму получаемой солнечной радиации влияют три главных параметра небесной механики (рис. 1.4А). Наиболее длинный, столетичный цикл проходят изменения *эксцентриситета*, то есть вытянутости солнечной орбиты Земли, которая колеблется от 1 до 5%. Чем больше эксцентриситет, тем меньше поступление солнечной радиации на Землю. С периодом около 41 тыс. лет и с амплитудой 2° меняется *наклон земной оси*, что особенно влияет на облучение полярных областей. Если бы наклона оси не было, полярные области вообще не получали бы солнечного тепла. Наконец, *прецессия (предварение) равноденствий* с периодом изменения от 19 до 23 тыс. лет (среднее значение — 21 тыс. лет) наибольшее влияние оказывает на инсоляцию в тропических областях. Прецессия вызывается волчкообразным качанием земной оси с изменением ее ориентировки и ведет к смещению по околосолнечной орбите точек, в которых находится Земля во время весенних и осенних равноденствий. Например, 11 тыс. лет назад в осеннее равноденствие 22 сентября Земля находилась на противоположной стороне своей орбиты.

Суммирование всех этих гармонических разнопериодных колебаний дает зубчатую кривую (рис. 1.4Б), минимумы которой, по Миланковичу, совпадают с максимумами похолоданий. Отсюда можно рассчитать астрономический возраст главных климатических событий плейстоцена, то есть датировать их числом оборотов Земли вокруг Солнца. Иногда такое число именуют «кален-

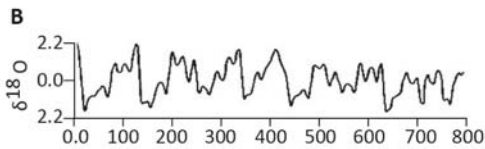
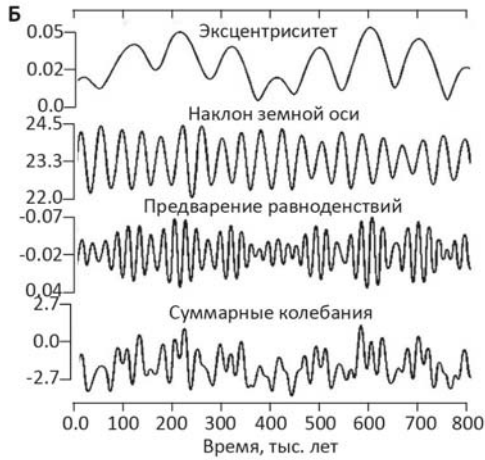
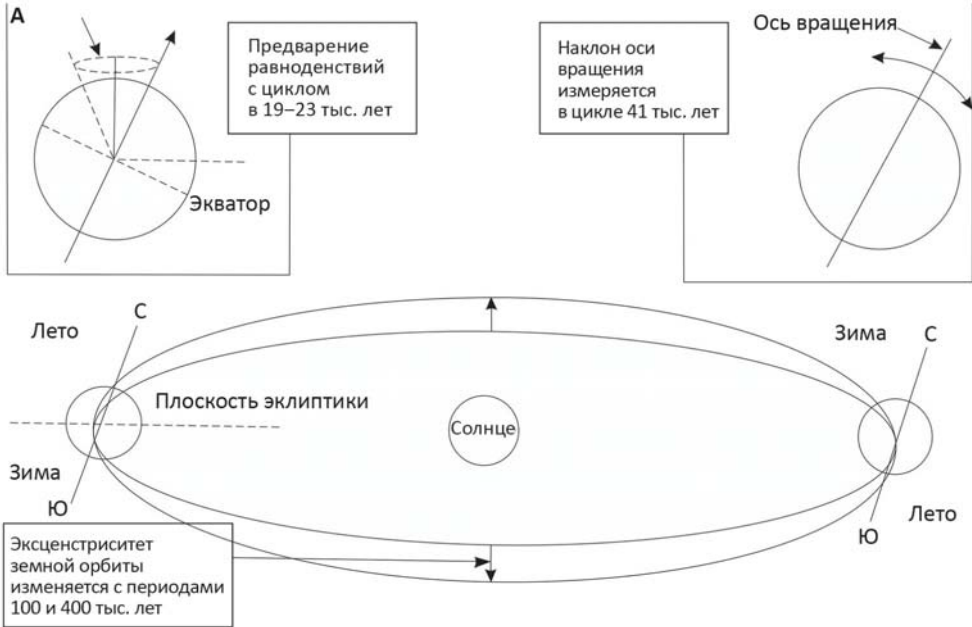


Рис. 1.4. Сравнение колебаний орбитальных параметров и изотопного сигнала в океанах. Источник: [Imbrie et al., 1984]. А) три орбитальных параметра, влияющих на величину приходящей на Землю солнечной радиации; Б) изменения орбитальных параметров за последние 800 тыс. лет: эксцентриситет — отношение полуосей эллипса, наклон оси в градусах; предварение равноденствий в величинах стандартного отклонения; суммарная кривая в величинах стандартного отклонения; В) для сравнения с суммарной кривой — отклонения содержания тяжелого изотопа кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) в раковинах фораминифер по пяти океаническим колонкам

дарным», то есть метризованным возрастом в отличие от геологического возраста, определяемого по ранжированной шкале палеонтологических и климатических событий.

Эта гипотеза детально обсуждалась в 1930–1950-х годах, когда многие сомневались, что сокращение приходящей на Землю солнечной радиации на 5 % может вызвать обширное оледенение. Решающие доказательства были получены позднее, когда появились независимые от астрономических расчетов методы: а) кислородно-изотопной регистрации похолоданий и потеплений в разрезе колонок глубоководных океанических илов; б) хронометрии или датирования, особенно радиоуглеродный и палеомагнитный, позволившие надежно фиксировать хронологические рубежи в непрерывных разрезах.

Морские геологи обнаружили, что кислородно-изотопные кривые очень похожи в разных океанах и глубоководных впадинах, и, следовательно, вариации  $\delta^{18}\text{O}$  вызваны глобальными, а не местными причинами. При сравнении с кривыми Миланковича они обнаруживали видимое сходство (рис. 1.4В), подтвержденное математической корреляцией графиков [Imbrie et al., 1984].

Решающее доказательство орбитальной астрономической теории было найдено на суше при анализе ледяного ядра длиной 3,6 км из Антарктического ледникового щита, полученного в 1990-х годах на советской станции Восток. Кислородно-изотопная кривая этого ядра отразила колебания климата за последние 400 тыс. лет, похожие на кривую Миланковича. Они сопровождалась параллельными изменениями других параметров, в частности содержания углекислого газа в пузырьках воздуха или атмосферной пыли во льду. Такие колебания также истолковываются как результаты изменения глобального климата и состава атмосферы [Petit et al., 1999]. Аналогичные кривые были получены также по данным ледяных ядер из глубоких скважин в Гренландии.

И наконец, финальный аккорд дает независимая запись климатических ритмов за последние 2,5 млн лет, опять на суше, в уникальном разрезе Лёссового плато в Китае мощностью до 300 м. Здесь измерялась магнитная восприимчивость микрочастиц в разрезе чередующихся почв и лёссов. Почвы отмечают эпохи потеплений, а ветровая пыль лёссов связана с сухим и холодным климатом. Запыленность атмосферы в принципе повсюду выше для ледниковых эпох из-за большей обнаженности почв и их сухости. Содержание магнитных частиц зависит от интенсивности ветровой деятельности по приносу пыли издалека. На рис. 1.5 видно большое сходство магнитометрической кривой по лёссам с кислородно-изотопной кривой по глубоководным осадкам.

Однако сходство кривых еще не есть доказательство планетарной синхронности колебаний изотопного состава и вариаций орбитальных параметров. Потребовалось доказать синхронность этих событий с помощью независимых методов датирования. Для этого все крупные пики  $\delta^{18}\text{O}$ , дающие пилообразную кривую, выделены в качестве морских изотопных стадий

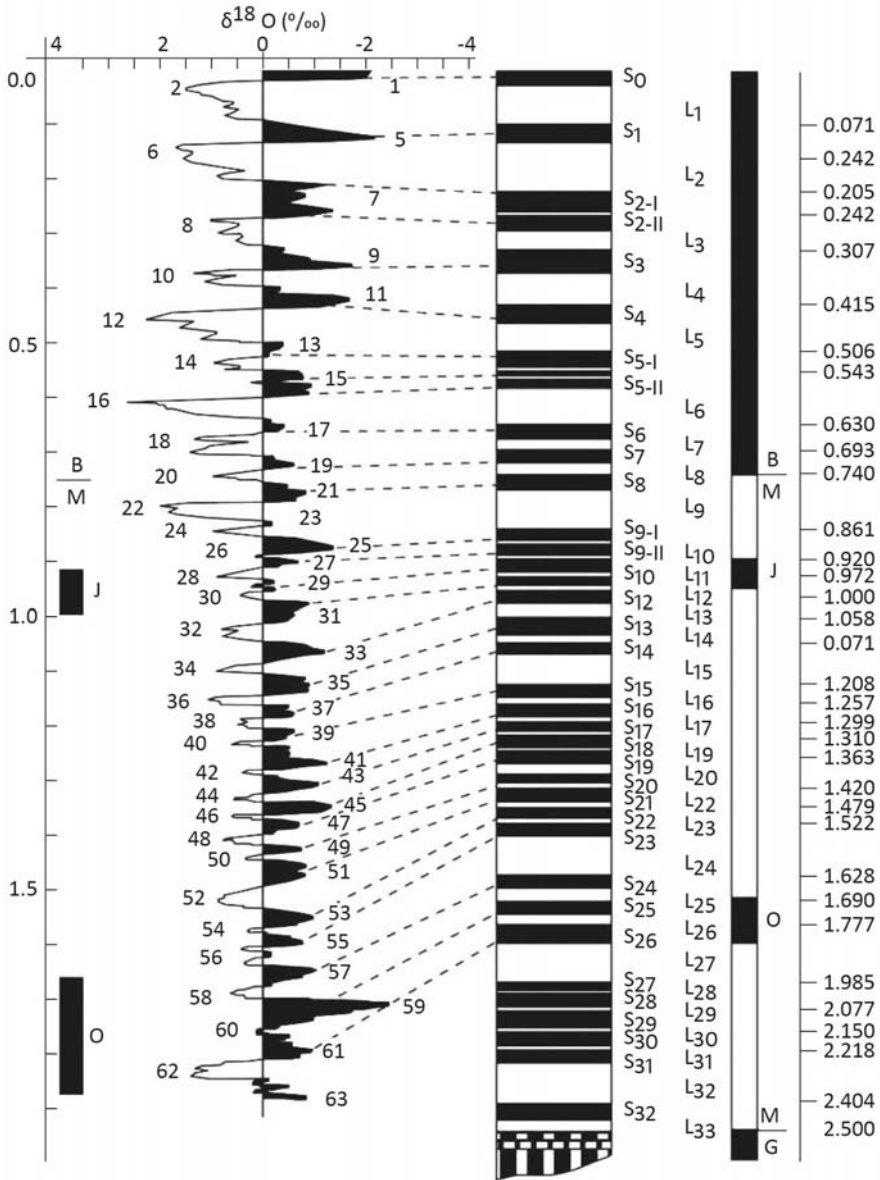


Рис. 1.5. Океаническая кислородно-изотопная кривая (63 стадии, слева) в сравнении с колонкой лёссов ( $L$  — холодные эпохи) и 32 погребенных почв ( $S$  — теплые эпохи) в китайском разрезе Баоцзи. Источник: [Rutter et al., 1996]. Справа — палеомагнитная шкала с возрастaми в млн лет; черное — эпохи прямой полярности, белое — обратной. Магнетохроны:  $B$  — Брунес,  $M$  — Матуяма,  $G$  — Гаусс; субхроны:  $J$  — Харамильо,  $O$  — Олдувай

(МИС) и пронумерованы сверху вниз: четные номера отмечают ледниковые стадии, нечетные — межледниковые (рис. 1.5). Мы живем в эпоху стадии 1, а максимум последнего оледенения соответствует МИС-2. Возраст верхних трех изотопных стадий определен радиоуглеродным датированием, обеспечивающим глобальную корреляцию в пределах последних 50 тыс. лет (об этом пойдет речь в разделе 2.9).

Нижний глобально синхронный уровень представлен сменой полярности магнитного поля Земли, произошедшей 774 тыс. лет назад (палеомагнитная инверсия Брюнес-Матуяма) на уровне изотопной стадии 19. В промежутке между 50 и 780 тыс. лет назад возрасты изотопных стадий рассчитываются математически по совпадению с пиками астрономической кривой. Эти расчеты независимо подтверждаются уран-ториевыми датировками древних коралловых рифов и пещерных сталагмитов на уровнях 200–100 тыс. лет назад, поэтому теперь существует уверенность в параллельности изменения изотопного состава воды и колебаний астрономических параметров. Это позволяет использовать астрономическую кривую в качестве возрастной линейки для климатических ритмов, у которых нет надежных физических датировок.

В океанических осадках сейчас известно уже более 200 кислородно-изотопных стадий, из них 103 — в четвертичной системе. В последние годы подтверждения глобальной климатической ритмичности на суше получены также при изучении кернов донных отложений высокогорных озер в Андах и глубоководной котловины оз. Байкал. Российскими, американскими и японскими учеными, исследовавшими содержание биогенной кремнекислоты в осадках Байкала, установлена та же последовательность похолоданий и потеплений, что и по океаническим колонкам и ледяным кернам.

### 1.2.3. Земной усилитель колебаний теплообеспеченности

Пики положительных отклонений  $\delta^{18}\text{O}$ , отвечающие максимальному развитию материкового оледенения, совсем не обязательно точно совпадают с температурными минимумами или с инсоляционными минимумами Миланковича. Влияние орбитальных параметров на земной климат обусловлено не столько общими колебаниями суммарной солнечной радиации, сколько ее перераспределением по поверхности Земли. Эти колебания, хотя и небольшие по амплитуде, играли роль спускового крючка для усиления и разгона климатических колебаний. Астрономически обусловленное падение потока солнечной энергии особенно сильно сказывалось в высоких широтах (на  $80 \text{ Вт/м}^2$  для июля к северу от  $60^\circ$  с. ш.), где оно увеличивало продолжительность и размеры снежного покрова и, соответственно, альбедо Земли, то есть ее способность отражать обратно в космос солнечную энергию. Это приводило к дальнейшему снижению объема поглощенной солнечной радиации и прогрессирующему похолоданию.



При максимальном развитии оледенения климат становился все суше, и атмосферной влаги уже не хватало для дальнейшего роста ледников. При почти безоблачной погоде, господствовавшей в пики ледниковых эпох, даже небольшое уменьшение покрытой снегом территории снижало альбедо и обеспечивало усиленное поглощение солнечной радиации более темной и шероховатой поверхностью Земли. В таком неустойчивом состоянии ледниковых систем незначительное потепление астрономической природы могло вызвать необратимый, по типу цепной реакции, распад ледниковых щитов, особенно погруженных ниже уровня океана, с выбросом огромного количества айсбергов. Быстрый подъем уровня океана и развал ледников, усиливая друг друга, нарастали лавинообразно. Этот процесс быстрого завершения ледниковой эпохи называется *терминацией*. На кислородно-изотопных кривых он отмечен резким падением содержания тяжелого изотопа (см. рис. 1.3). На графике показаны терминации, которые на фоне медленного нарастания объема льдов в начале ледникового цикла придают изотопным кривым характерную пилообразную форму.

Эта весьма правдоподобная модель ледниковых и межледниковых эпох основана на *автоколебательном механизме* климатической системы Земли, изменения которой модулируются колебаниями инсоляции в циклах Миланковича. Это значит, что причина ритмичных изменений планетарного климата заключается в динамической неустойчивости климатической системы Земли, которая особенно велика в ледниковые эры. Физическая природа этой неустойчивости заключается в частых переходах воды из жидкой фазы в твердую и обратно, характерных для диапазона температур, свойственного поверхности Земли. От колебаний астрономических параметров, провоцирующих изменения климата, зависят главным образом моменты начала и окончания ледниковых и межледниковых эпох, поэтому колебания астрономических параметров являются не столько двигателем, сколько *метрономом* климатических циклов, определяющим их регулярность и симметричность.

Для развития в умеренных широтах обширного оледенения необходимо, чтобы слабое, астрономически обусловленное падение притока солнечной энергии было усилено земными механизмами. Одну из важнейших частей этого механизма образует система океанических течений, которые переносят тепло из экваториальных областей в полярные, обеспечивая выравнивание энергообеспеченности планеты. Эта океанологическая система — *глобальный тепловой конвейер*, образующий грандиозную петлю (рис. 1.6), верхняя ветвь которой направлена из Тихого океана на запад и на север к берегам Западной Европы. Здесь нагретая в тропиках вода охлаждается и опускается на дно океана, где образует противоток холодной, более плотной и соленой воды на юг и восток, вдоль Антарктиды, где она еще более охлаждается. В северной части Тихого океана этот поток выходит на поверхность, двигаясь к экватору, вновь нагревается и опресняется.

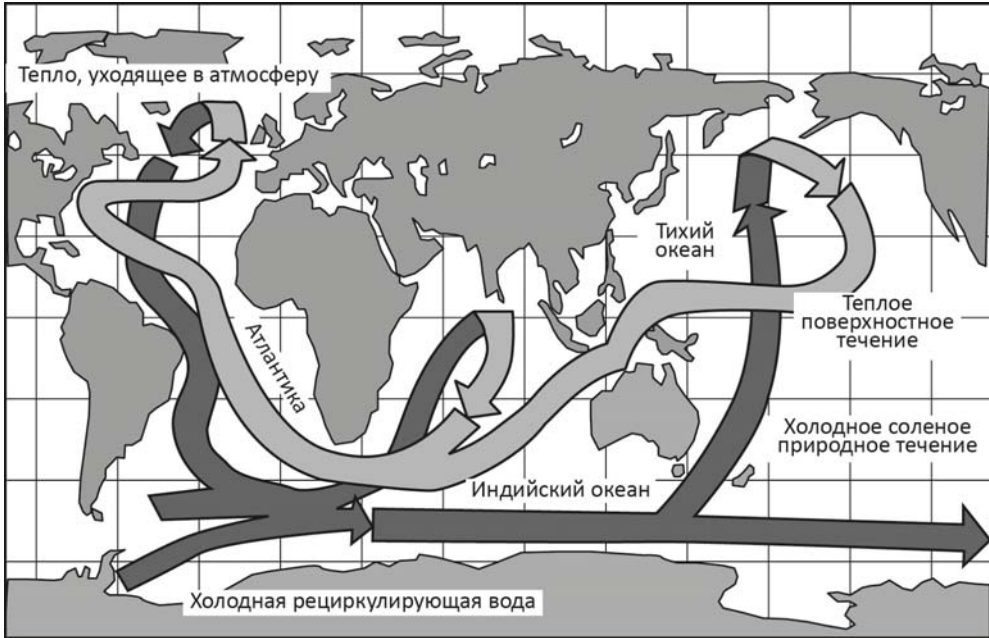


Рис. 1.6. Перенос тепла из тропиков в Арктику — глобальный океанический конвейер. Источник: [Broecker, Denton, 1990]

В талассократические периоды при высоком уровне океана планетарный конвейер работал с большим эффектом, выравнивая температуру полярных и тропических широт. В наше время петля конвейера достигает только берегов Скандинавии, а в ледниковые эпохи, когда уровень океана был на 130 м ниже и сплошные паковые льды спускались до Испании, тепловой конвейер заканчивался еще южнее. Соответственно, пути циклонов, приносящих тепло и влагу с Атлантики в Евразию, смещались далеко к югу от современных 50-й и 60-й параллелей, при этом в умеренных широтах царил арктический холод, а сухие субтропики могли получать даже больше влаги, чем сейчас.

Следовательно, изучение событий четвертичного периода помогает понять принципы работы климатического механизма нашей планеты и использовать это знание, с одной стороны, для реконструкции истории природы в более отдаленные геологические периоды, а с другой стороны — для контроля изменения окружающей среды. В частности, данные об условиях возникновения ледниковых и межледниковых эпох совершенно необходимы для GCM (General Circulation Models), то есть для общих моделей глобальной циркуляции атмосферы, разрабатываемых с помощью сверхмощных компьютеров. Работа таких моделей проверяется данными четвертичной геологии, например, о границах древних ледников и морей, о палеонтологически и гео-

криологически установленных амплитудах среднемесячных температур, о колебаниях уровня озер и циклах увлажненности и т. п. Эти модели предполагается в дальнейшем использовать для прогнозирования изменений климата и состава атмосферы под влиянием экономической деятельности человека. В настоящее время такие модели еще малонадежны, так как большая часть планеты, особенно океанические просторы, лишена пунктов наблюдения с измерениями необходимых параметров.

Работами геологов, изучающих четвертичный период, надежно обоснована теория главных климатических ритмов с периодом около 100 тыс. лет для среднего и позднего плейстоцена и 40 тыс. лет для раннего плейстоцена. Это является крупнейшим вкладом четвертичной геологии в познание истории фанерозоя. Ниже мы ограничимся рассмотрением доказанных закономерностей на уровне короткопериодных циклов Миланковича, которые уже используются для глобальной корреляции событий не только четвертичного, но и третичного. и даже мелового времени. Безусловно, существуют и малоизученные климатические ритмы более высокого порядка, например с периодом 400 тыс. лет, которые объясняются изменениями эксцентриситета земной орбиты. Еще более продолжительные ритмы, измеряемые миллионами лет, гипотетически связывают с галактическим годом.

## 1.3. Классификация четвертичных образований

### 1.3.1. Главные черты четвертичного покрова

Первичная задача любого исследования — систематизация его объектов, без чего нельзя составить представления ни об объемах, ни о методах исследования. Объект исследований четвертичной геологии — покров четвертичных отложений, почти сплошным плащом покрывающих Землю. В старину они нередко именовались наносами, что применительно к горным странам почти верно. В них, действительно, прерывистый плащ четвертичных отложений сложен рыхлыми щебнисто-песчано-глинистыми породами мощностью всего 5–10 м, а местами и вовсе отсутствующими. Однако, например на Камчатке, в Южной Италии и других вулканических областях, породы этого возраста представлены лавами, туфами, разными пирокластами толщиной в сотни метров. Четвертичные отложения мощностью более километра накапливались в дельтах великих рек — Амазонки, Миссисипи, Нила и др.

Не менее впечатляющие скопления речных и озерных осадков выполняют крупные межгорные впадины типа Паннонской или Ферганской; морские толщи большой мощности слагают берега южного Каспия. Вся хозяйственная деятельность и история великих цивилизаций Северной Европы, Двуречья, Индии, Китая тесно связана с мощным рыхлым субстратом четвертичных

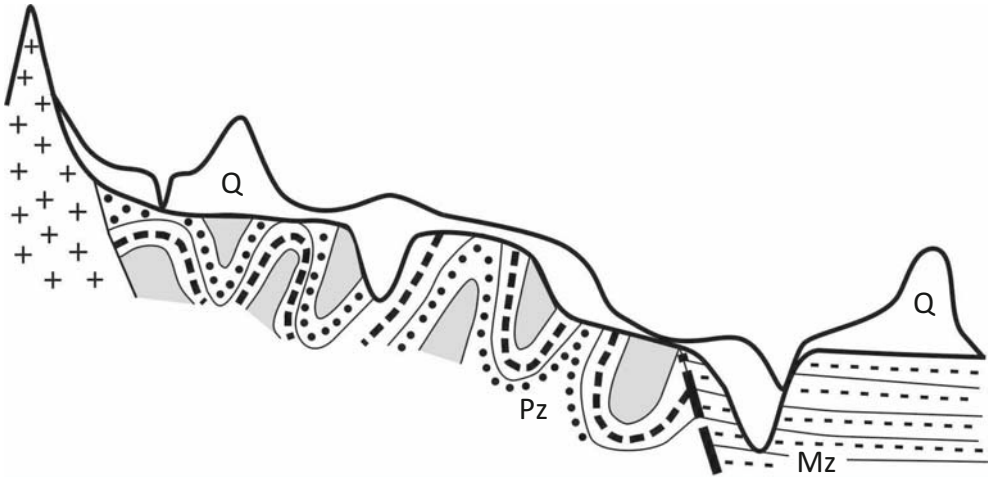


Рис. 1.7. Типичное распределение мощностей четвертичного покрова суши (Q) поверх мезозойских (Mz) и палеозойских (Pz) пород

пород, который служит основанием сооружений и строительным материалом, содержит главные запасы пресной воды и многих других полезных ископаемых — от россыпного золота до торфяников и сапропелей. А главное — четвертичные почвы являются основой земледелия.

Вначале полезно усвоить главные характеристики четвертичных образований, связанные с их преобладающей континентальной природой (геократический период).

1. Обычное плащеобразное залегание на всех элементах дочетвертичного рельефа, на суше чаще всего с глубоким структурным и стратиграфическим несогласием. Это явно **верхний структурный этаж** литосферы с иными формами залегания и распределением мощностей по сравнению с подстилающими породами (рис. 1.7). Кроме того, вполне обычна резкая литологическая разница с породами субстрата. Постепенный переход от дочетвертичных отложений к четвертичным встречается лишь в глубоководных илах, редко в прибрежно-морских, почвенно-лёссовых толщах и некоторых озерных котловинах.

2. Рыхлость четвертичных пород (кроме вулканических лав), связанная с приповерхностным залеганием и кратковременностью процессов диагенеза.

3. Крайняя изменчивость мощностей и фаций по простиранию, что связано с очень быстрыми сменами условий осадконакопления на суше по сравнению с дном морей. Такую смену можно легко наблюдать в загородной поездке, когда на протяжении первых километров и сотен метров можно видеть быструю смену речной аккумуляции, отложение илов в озере, а рядом — рост торфяника или надув ветровых дюн на пляже. И повсеместно идет образование почв — биогенного элювия. Скорости накопления осадочного мате-

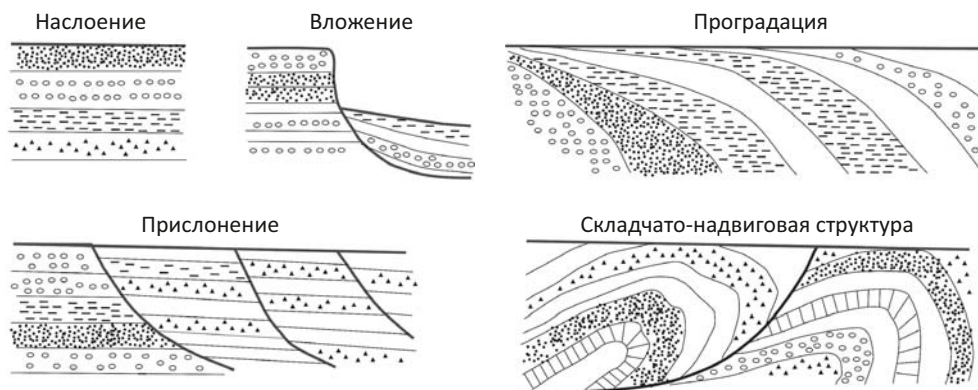


Рис. 1.8. Варианты структуры четвертичных образований

риала на континенте принципиально различаются в зависимости от энергетики процесса: трудно сравнивать многометровые нагромождения ледником валунного материала с тонкими прослойками почв или вулканических пеплов. На Русской равнине не редкость смена по латерали грубых толщ мощностью 200–300 м двух-трехметровым слоем лёссовидного алевролита.

4. Максимальное разнообразие способов залегания осадочных тел. Помимо стандартного **наслоения** по вертикали (констративного залегания), совершенно нормальны **вложение** и латеральное **прислонение** осадочных тел. Кроме того, всевозможные инъективные и тектонические контакты (включая перевернутое залегание), обычные в дочетвертичных горно-складчатых областях, в четвертичных разрезах нередко встречаются и на аккумулятивных равнинах (рис. 1.8).

5. Ввиду преобладания ледниковых климатов в течение четвертичного периода органогенные отложения, особенно в умеренных и арктических широтах, редки. Основная масса осадков представлена терригенным материалом, то есть продуктами механической дезинтеграции более древних пород. Конечно, в тропиках имело место химическое выветривание, но породы типа латеритов практически не встречаются в разрезах привычных нам умеренных широт и в этом пособии не рассматриваются. Исключениями в умеренных широтах являются торфяники и диатомиты, а также эвапориты пустынных озер.

Перечисленные выше особенности четвертичных образований вместе с относительной краткостью четвертичной истории определяют специфику методов их изучения. Для того чтобы понять условия и последовательность залегания путем изучения геометрии пластов, а также чтобы реконструировать динамику среды осадконакопления, помимо ведущих структурно-геологического и седиментологического методов важную роль играет геоморфологический анализ, позволяющий догадываться о геологической структуре по види-

мому рельефу кровли геологических тел. В этом смысле геоморфологический анализ вместе с геодезическими измерениями относится к группе структурно-геологических методов.

Палеонтологический метод применяется не так широко, как в более древних образованиях, из-за медленной эволюции органического мира по сравнению с длительным четвертичным периодом и малой плотности биомассы в условиях сурового ледникового климата. Очень широко в четвертичной геологии, гораздо шире, чем в других системах, применяются разнообразные физико-химические методы, позволяющие связать геологическую хронологию с количественной ее оценкой, рассчитанной в астрономических годах.

### 1.3.2. Системность геологических карт

Наиболее разнообразно в плане приемов исследования и областей практического применения геологическое картирование, не используемое в геологии океанов. Это главный инструмент познания истории суши, который интегрирует среди прочего данные об изученных геологических разрезах и результаты лабораторных исследований. Геологическая карта — это компактная двумерная модель трехмерной геологической действительности. Читая ее, мы получаем знания и о четвертом, возрастном измерении, то есть об истории природы. Это информация, собранная многолетними усилиями сотен исследователей. Два главных типа геологических карт — дочетвертичных и четвертичных образований, — хотя и выполняют одну задачу, принципиально различаются по способам передачи информации о геологической истории и по изобразительным свойствам.

Для того чтобы понять суть этих различий, необходимо определиться с тем, что мы называем картой. Ценность любой картографической продукции заключается в ее информационной емкости, а она в первую очередь обеспечивается легендой карты, то есть системой условных обозначений или слов языка, на котором написан картографический текст. В этом отношении имеются два типа картографических изображений: *настоящие карты* с системной легендой и *схемы районирования*. Схемы районирования встречаются на каждом шагу, например, схема районов какой-либо административной области, природных ландшафтов, государств мира. В этих схемах нет другой информации помимо той, что указана в условных обозначениях.

Совершенно другой информационной емкостью обладают настоящие карты ввиду их системности. Всем знакомая топографическая карта состоит из субконцентрических рисунков — изогипс с бергштрихами и указаниями высот. При чтении этого документа в голове читателя возникает трехмерная картина рельефа местности, то есть знание, прямо не указанное в условных обозначениях. Системность карты означает, что она обладает эмерджентными (от англ. emergent) свойствами — дает информацию, в явном виде не содер-

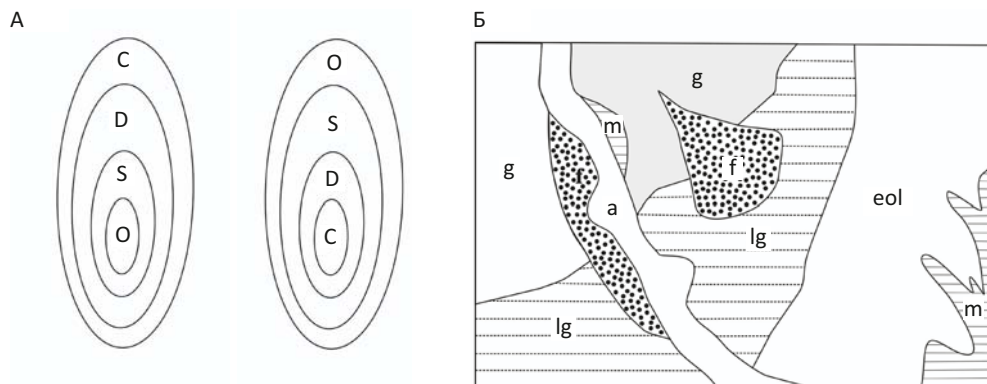


Рис. 1.9. Системные свойства геологических карт. Источник: [Астахов, 2008]. А) субконцентрическая плановая конфигурация осадочных тел дочетвертичных образований с антиклинальной (слева) и синклиальной (справа) деформацией; Б) индексы генетических типов на карте четвертичных образований: *m* — морские отложения; *g* — морены; *lg* — озерно-ледниковые осадки; *f* — зандровые пески; *eol* — перевейные пески; *a* — аллювиальные толщи

жащуюся в документе, а всплывающую лишь при его использовании. Простейший пример эмерджентности, приводящийся в учебниках, — кирпичная арка, которая обладает несущей способностью, многократно превосходящей суммарную прочность всех кирпичей.

У геологических карт системность проявляется лишь тогда, когда их легенда является продуманной системой ранжированных признаков. Отдельные элементы ранжированной легенды — это не просто буквы алфавита, а количественно отличающиеся точки какого-то вектора. Схемы тектонического районирования, как правило, обладают слабо выраженными системными свойствами, поскольку очень трудно построить ранжированный ряд индивидуальных тектонических объектов. Напротив, обычная карта дочетвертичных образований ярко системна, поскольку главные элементы ее легенды ранжированы по признаку «старше-моложе», располагаясь на единой оси.

Возьмем участок карты, где есть несколько concentрически вложенных друг в друга овальных контуров и на каждом кольце, начиная с центра, написаны индексы геологических систем: О, S, D, С (рис. 1.9А, слева). В этом случае легко узнать антиклиналь. Если рядом на таких же контурах эти индексы написаны в обратном порядке: С, D, S, О (рис. 1.9А, справа), то эта же плановая форма определяется как синклиналь. Таким образом, две разные тектонические формы обнаружены в документе, где о них ни слова не было сказано. Следовательно, документ обладает эмерджентными свойствами, которые обеспечиваются строгим ранжированием условных знаков. Индексы систем (и соответствующие им цвета карты) расположены в легенде по порядку геологического возраста. Каждый значок содержит информацию об этом порядке. Это

похоже на чтение обычного текста: каждая отдельная буква бессмысленна, но при их последовательном сочетании мы получаем осмысленное понятие (или не получаем, если орфография не соблюдена). Чтение карт все же сложнее обычного текста, здесь скорее отдельные слова-понятия выступают в качестве кирпичиков, составляющих осмысленную фразу — скажем, последовательность индексов O, S, D, C на русский язык можно перевести примерно как «это поднятие образовалось после каменноугольного периода».

Иногда можно услышать, что на геологической карте изображены горные породы. Это неверно в принципе. Конечно, на карте есть значки гранитов, песчаников и других пород, но не они образуют ее смысловой каркас. Главный смысл карты дочетвертичных образований в том, что на ней изображены наши знания о взаимоотношениях и об относительном геологическом возрасте стратиграфических подразделений, то есть комплексов пород, независимо от их вещественного состава. Иначе говоря, карты дочетвертичных образований построены по возрастному принципу. Именно строгий порядок геологических возрастов в легенде обеспечивает карте эмерджентные свойства, нередко такие, о которых ее составитель и не подозревал.

Были попытки строить и карты четвертичных отложений в том же возрастном ключе, что и карты дочетвертичных образований, но они были малоуспешны: четвертичная история слишком коротка для выделения множества стратиграфических подразделений, то есть букв, из которых слагается текст. А из четырех-пяти букв или иероглифов связного текста не получается. До последнего времени встречались и попытки кардинального упрощения. Они выражались в изображении на картах вещественного состава — лёсса, песков, глин, галечников. Легко догадаться, что такие карты (скорее картосхемы) могут быть полезны для поисков стройматериалов, но для изучения геологической истории они немногим лучше схемы административных районов по простой причине: одни и те же породы могут образовываться в самые разные эпохи и совершенно разными способами.

### 1.3.3. Генетический принцип классификации

Для изображения осадочных толщ на карте четвертичных образований принят принцип их генетических различий. Это значит, что если на карте дочетвертичных образований цвета обозначают разновозрастные породные комплексы, то на четвертичной карте система цветов означает генетические различия, то есть различия в способах образования комплексов пород. Картографическое изображение местности выглядит по-иному (рис. 1.9Б), но его прочтение также дает связную историко-геологическую идею. В данном случае индексы генетически различных комплексов пород истолковываются так, что на осушенное дно моря (m) с северо-запада надвинулся ледник (g), перед краем которого образовалось подпрудное озеро (lg). Талые ледниковые воды



отложили обломочный материал поверх дна спущенного озера (f), а рядом в приледниковой зоне преобладала ветровая аккумуляция (eol). В последнюю очередь заложилась современные речные долины, в которых формируются аллювиальные осадки (a).

Надо разобраться в том, что в четвертичной геологии мы называем генезисом. В принципе это очень общее понятие, означающее происхождение. Иначе говоря, понятие *генезиса* подразумевает причинную связь, а значит, в неявном виде содержит концепцию времени. Потомок может быть только моложе родителя, а отец не может произойти от сына. Следует отличать термин *парагенетический*, означающий происхождение в том же месте, но не обязательно из одного источника. Например, братья связаны генетически, то есть происхождением от одних родителей, а приемные дети — лишь парагенетически.

Применительно к осадочным породам понятие происхождения можно трактовать по-разному. Часто его рассматривают как обозначение среды осадконакопления, которых всего четыре: *субаквальная* (водная), *субаэральная* (воздушная), *субгляциальная* (ледниковая) и *субтерральная* (подземная). Очевидно, что этих признаков слишком мало для построения сложной картины происхождения пород на протяжении последних 2,5 млн лет.

Другие основания генетической классификации подразумевают различие: а) источников породного вещества; б) способов его транспортировки по земной поверхности; в) мест и форм его аккумуляции. Источников породного вещества не так много. По этому признаку различают терригенные, органогенные (или биогенные), вулканогенные, магматогенные, хемогенные и изредка техногенные породы. На практике геолог, изучающий какую-либо территорию, в подавляющем большинстве случаев видит на поверхности в основном терригенные образования, гораздо реже — биогенные и лишь в исключительных случаях — хемогенные и вулканогенные. Следовательно, построить содержательную карту по этому признаку тоже не получится.

Выход был найден в конце XIX века, когда русский геолог А. П. Павлов ввел понятие *генетического типа* послетретичных континентальных образований, к которому отнес набор рыхлых пород, связанных единым способом образования. Первоначально выделялись только пять типов: моренные (или ледниковые), аллювиальные, элювиальные, делювиальные и пролювиальные отложения. В советское время из-за растущей потребности в геологических картах четвертичных образований эта классификация в усложненном виде была взята на вооружение, а само понятие генетического типа уточнено. Так, аллювий Павлова распался на собственно аллювиальные, флювиогляциальные, озерные и озерно-ледниковые отложения. Ледниковые отложения тоже были разделены на несколько генетических типов. В 1960-х годах список последних достиг двух десятков, его уже можно было использовать как основу при создании легенды геологических карт. Комбинируя такое количество базовых элементов (или «букв»), можно составлять картографический текст

любой степени сложности, используя все цвета спектра в качестве главных изобразительных средств.

Поскольку четвертичный период — геократический, морские отложения на суше встречаются редко, в основном по берегам современных морей. Почти всегда это мелководные осадки. Морские отложения в большинстве отечественных работ по четвертичной геологии суши рассматриваются как один или два генетических типа, которых обычно достаточно для обозначения ограниченного объема морских осадков, встречающихся на суше. На картах они обычно показываются либо в целом, как *мариний*, без подразделения на генетические типы, либо с выделением относительно глубоководных *ледниково-морских (гляциомариний)*, и переходных к речным *аллювиально-морских (дельтовых)* отложений.

В настоящей книге есть место только для разбора более сложной и на практике более важной системы типов континентальных отложений, хотя существуют и независимые классификации генетических типов вулканогенных и морских отложений. Многие хорошо известные в других геологических системах морские образования, например нефелоидные илы, турбидиты и контуриты, в четвертичной системе суши не встречаются и используются только для изображения подводной ситуации в океанах. Разными авторами созданы сложные классификации морских отложений с множеством генетических типов, таких как приливные, вдоль береговых течений, пелагические и другие отложения независимо от их возраста (см. например, [Фролов, 1984]). Они подробно изучаются в курсах седиментологии и морской геологии, где они более актуальны, чем при исследовании четвертичного покрова суши. Здесь нам не удастся даже вкратце описать главные типы морских отложений. Самое общее представление о морских и вулканогенных отложениях четвертичной системы можно получить в изданном Московским государственным университетом учебнике [Чистяков и др., 2000], а также в пособиях Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) для геологов-съемщиков [Методическое руководство..., 1954; Методическое пособие..., 2005].

#### 1.3.4. Систематика генетических типов континентальных четвертичных отложений

Самой компактной и известной является система классификации Е. В. Шанцера [Шанцер, 1966], разработавшего теорию генетических типов, которая положена в основу табл. 1.1. В схеме Шанцера генетические типы объединены в условные парагенетические ряды. Однако эти ряды объединяют отложения не столько по местоположению (парагенезис), сколько по происхождению (генезис), а вернее сказать, по способу и дальности транспортировки терригенного вещества (левый столбец табл. 1.1). Могут быть и другие принципы груп-

Таблица 1.1. Примерная генетическая классификация четвертичных отложений суши [Шанцер, 1966]

Способ транспортировки	Генетический тип и подтип аккумуляции	
Выветривание	e Элювий (кора выветривания)	
	pd Почвы	
Склоновый	c Коллювий	Обвальные образования (дерущий) Осыпные образования (десперсий)
	dI Оползневые образования (деляпсий) s Солифлюкционные образования dr Десерпций	
	d Делювий	
Водный (на суше)	p Пролувий a Аллювий (равнинный, горный, перигляциальный) l Озерные отложения (прибрежные и глубоководные) al Отложения озерных дельт	
Морской	am Дельтовые и эстуарные отложения m Мариний	
	gm Гляциомариний	
Ледниковый (гляциальный)	g(a) Абляционная морена g(b) Основная морена g(m) Краевая морена	
	f Флювиогляциальные	Внутриледниковые Приледниковые
	lg Ледниково-озерные (лимногляциальные)	
	kf Катафлювиальные	
Эоловый (ветровой)	v Перфляционные (перевеянные)	
	L Суперфляционные (навеянные, лёссоиды)	
Биогенный	pl Палюстрий	Торфяники верховые Торфяники низинные

пировки генетических типов. Например, если агент транспортировки — текучая вода, то можно выделить флювиальную группу, состоящую из аллювия, пролювия и флювиогляциальных отложений, но это не влияет на понимание отдельных генетических типов, которые разбираются далее [Астахов, 2008].

Определение генетического типа по Шанцеру очень громоздко, и его вряд ли можно рекомендовать практикующим геологам. Более сжатая фор-

мулировка гласит: в *генетический тип выделяется набор залегающих вместе осадочных пород, отложенных одним конкретным агентом транспортировки в виде специфического ансамбля фаций.*

Здесь подразумеваются две группы признаков осадочных пород, по которым мы различаем их генетический тип: 1) указания на *способ транспортировки*, например тип наслоения, следы течения, волнения, нарастания, выдавливания и т. п.; 2) крупные черты пространственной организации осадочного комплекса, в которых отражена специфическая *форма проявления геологического процесса*. В реальном геологическом разрезе это формы залегания и совместного нахождения разных пород, иначе говоря, *фациальная архитектура*. Очень важны ее главные характеристики: какую структуру осадочный комплекс имеет в плане и разрезе, прислонены ли разные породы друг к другу или наслоены, насколько часто чередуются слои разного состава и т. п.

Но самое главное — нельзя рассматривать генетический тип как материальный объект, хотя на карте мы изображаем вполне конкретную площадь, занятую породами, относимыми к тому или иному генетическому типу. Генетический тип — это абстрактная полочка, к которой мы относим различные породные комплексы. Эти породы можно потрогать и проанализировать, а генетический тип нельзя. Например: в природе существует конкретный волк или конкретный олень, но нет млекопитающего. Это млекопитающее — классификационная выдумка Линнея, созданная для удобства описания и систематизации. То же и в геологии: песок, глина и другие породы, отличающиеся физическими свойствами, относятся к миру конкретных, вещественных объектов, которые можно копать и практически использовать. С девонской системой или с генетическим типом ничего подобного сделать нельзя, потому что это идеальные конструкции или краски, которые мы используем, рисуя историю природы. Однообразное понимание литолого-вещественных терминов не вызывает затруднений у геологов, в то время как генетические интерпретации часто являются дискуссионными и среди специалистов.

В литературе имеются разные классификации генетических типов, в том числе очень детальные. Например: классификация ВСЕГЕИ, в которой сделана попытка объять все возможные способы образования пород в четвертичное время, включая магматические и техногенные накопления и даже импактиты. В результате получилась громоздкая схема из 38 континентальных и 6 морских генетических типов и множества подтипов [Методическое пособие..., 2005].

Из дидактических соображений целесообразно ограничить число рассматриваемых генетических типов наиболее часто встречающимися осадочными образованиями, покрывающими в сумме более 90 % территории России (см. табл. 1.1). Особое внимание следует уделить тем типам осадочных образований, которые могут представить затруднения при их полевой идентификации. Это необходимо для того, чтобы при чтении геологической карты за названиями и индексами генетических типов можно было бы сразу видеть

особые наборы разнообразных осадочных пород широкого распространения. Именно разнообразных, поскольку в определение генетического типа литологическая или петрографическая характеристика не входит.

Генетическая классификация описанного выше типа употребляется в основном в России и бывших республиках СССР, ее необходимо знать, чтобы читать основанные на этой классификации карты. На Западе чаще используется другая модификация генетического принципа. Осадочные образования разделяются там не по геологическим процессам, а по условиям и обстановкам осадконакопления, то есть по палеогеографическим критериям. Например, среди морских отложений выделяются осадки внутреннего пляжа, литорали, сублиторали и т.п. Обстановок осадконакопления, в принципе, может быть необозримое количество в отличие от ограниченного числа генетических типов. Такая классификация отличается от отечественной системы генетических типов примерно так же, как иероглифическая система письма — от буквенной. Нам кажется, что вторая удобнее, а китайцам больше нравится первая. Русская система идеальна для карт среднего и мелкого масштаба, на которых легко читаются принципиальные изменения древнего климата и путей сноса терригенного материала. Западная система более пригодна для детальных реконструкций условий осадконакопления, но при использовании ее для обзорных карт историко-геологический процесс, затушеванный множеством мелких деталей, читается с трудом.

Это различие связано с разными путями развития четвертичной геологии в России и на Западе. На Западе это в основном узкоспециализированные академические исследования, выполняемые преподавательским составом университетов и специальных исследовательских институтов в разных направлениях под общей шапкой Quaternary science [Encyclopedia..., 2013]. В России, ввиду ее размеров и хозяйственных потребностей, гораздо более развито изучение общей и региональной структуры четвертичного покрова, выполняемое в основном органами Геологической службы.