

С.Л. Афанасьев

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ФАНЕРОЗОЯ И ПРОБЛЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ



С.Л. Афанасьев

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ФАНЕРОЗОЯ И ПРОБЛЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

4783



МОСКВА "НЕДРА" 1987



Афанасьев С.Л. Геохронологическая шкала фанерозоя и проблема геологического времени. — М.: Недра, 1987, 144 с., с ил.

Рассмотрена проблема геологического возраста стратиграфических подразделений фанерозоя. На основе многочисленных шкал изотопного возраста по новым константам с учетом седиментационного метода составлена геохронологическая шкала фанерозоя. Освещены литологические методы определения геологического возраста, основанные на анализе мощности отложений, прежде всего биогенных пород и глин. Особый интерес представляет новый наноциклитный метод определения геологического возраста в миллионах (тысячах) лет по сезонным микрослойкам (варвам).

Для научных работников, занимающихся вопросами определения геологического возраста отложений.

Табл. 17, ил. 26, список лит. — 50 назв.

Рецензент: д-р геол.-минер. наук *Н.А. Ясаманов* (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)

МОНОГРАФИЯ

Спартак Леонидович Афанасьев

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ФАНЕРОЗОЯ И ПРОБЛЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Редактор издательства *И.Ф. Искра*
Обложка художника *Б.К. Силаева*
Художественный редактор *Г.Н. Юрчевская*
Технический редактор *Н.С. Анашкина*
Корректор *Н.Г. Гаспарян*
Оператор *Н.В. Бондаренко*

ИБ № 6692

Подписано в печать 23.03.87. Т—06378. Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Набор выполнен на наборно-пишущей машине. Гарнитура "Универс". Печать офсетная. Усл. печ.л. 8,37. Усл. кр.-отт. 8,70. Уч.-издл. 9,94. Тираж 2000 экз. Заказ 1575 /886—2. Цена 1 р. 60 к.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра",
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109033, Москва Ж-33, Волочаевская, 40.

А 1904040000—199
043 (01) —87 88—87

© Издательство "Недра", 1987

В оболочках и геоблоках стратисферы хранятся сведения о различных эрах развития нашей планеты. За всю длительную историю Земли стратисфера подвергалась бесчисленным катаклизмам: спредингам и субдукциям, рифтогенезам и орогенезам; разделялись континенты и океаны, сминались в складки слои, формировались орогенные пояса и корни гор. Нарушалась идеальная последовательность отложения слоев.

Расшифровка последовательности накопления фанерозойских свит и серий в сложно построенных складчатых сооружениях проводится биостратиграфами на основе изучения органических остатков. Однако фанерозой, как мы теперь знаем, составляет всего восьмую часть всей истории Земли. Основная, дофанерозойская часть этой истории практически не поддается расшифровке методами биостратиграфии. К тому же биостратиграфия отражает лишь качественную сторону — восстанавливает последовательность стратонов, оставляя за рамками своих исследований количественную сторону проблемы.

Решив в той или иной степени задачи пространственной характеристики отложений, стратиграфы долго искали пути определения временного параметра. Известно, что решение этой проблемы возможно только на принципе "песочных часов". За эталон квазиравномерного процесса принимали скорость накопления солей в Мировом океане, скорость седиментации и т. п. И только в начале двадцатого века Пьер Кюри, а затем Э. Резерфорд и их коллеги предложили принять за основу оценки геологического возраста горных пород достаточно равномерно идущий процесс распада нестабильных изотопов урана, тория и др.

С тех пор прошли многие десятилетия. В лабораториях мира постоянно ведутся работы по определению геологического возраста пород и стратонов, включающих их, публикуются десятки геохронологических шкал как по отдельным периодам и эпохам, так и по фанерозою в целом. Оценки геологического возраста начала формирования стратонов по этим шкалам не совпадают. Даже константы распада изотопов различными исследователями принимались разные. На XXV сессии МГК (1976 г.) в Сиднее (Австралия) удалось согласовать эти константы. Что касается труднодостижимых "истинных" оценок начала геологических периодов; эпох и фаз, то здесь еще предстоит огромная работа. В настоящее время лучшие мировые школы радиологов — советских, американских, французских и других — ведут исследования, цель которых создание наиболее приемлемой геохронологической шкалы фанерозоя.

Несовпадение датировок можно проиллюстрировать на новейших шкалах Ж.С. Одэна (1982 г.), У.Б. Харланда и др. (1982 г.), С.Л. Афа-

насыва (1984 г.), где, например, начало кембрия оценивается соответственно в 530, 590 и 570 млн. лет.

В настоящей работе собран и обработан материал по подавляющему большинству геохронологических шкал фанерозоя. Все датировки пересчитаны на согласованные "сиднейские" константы. Разработана система принципов отбраковки "плохих" датировок, а по "хорошим" составлена новая геохронологическая шкала фанерозоя. При этом для всех рубежей показана ожидаемая надежность вычисленных датировок.

СТРАТОНЫ

Современная геохронологическая шкала включает геологический и изотопный возраст стратиграфических подразделений (или стратонов). Поэтому, прежде чем обсуждать их возраст, рассмотрим стратоны.

Стратон — это геологическое тело, сформировавшееся за определенный отрезок времени и имеющее квазиизохронные границы. Различают четыре категории стратонов: литомы, циклиты, биомы и магнитные интервалы.

По Н.Б. Вассоевичу, литомы — это любого масштаба, состава и возраста ассоциации, комплексы осадочных образований [12]. Литомы, как правило, являются стратонами.

Циклит — это последовательный ряд литом, отражающий виток спирали геологического развития, от пульситов и микрослойков до земной коры в целом. В представлении Г.Э. Ога, геологическая история нашей планеты есть не что иное как история следующих друг за другом циклов.

Биома — это тело осадков, отложившихся в одинаковых биологических условиях, биостратиграфический эквивалент термина литома (по Дж. Уэллеру).

Магнитный интервал — стратон с определенной палеомагнитной характеристикой, магнитостратиграфический эквивалент термина литом.

Все категории стратонов образуют взаимосвязанные иерархические ряды (табл. 1), которые в первом приближении подразделяются на шесть уровней организации — оболочечный, формационный, пачечный, слоевой, слойковый и пульситовый — в соответствии с длительностью развития. Стратоны оболочечного уровня организации развивались сотни миллионов и миллиарды лет, формационного — миллионы и десятки миллионов лет, пачечного — десятки и сотни тысяч, слоевого — сотни и тысячи, слойкового — годы и десятки лет, пульситового — менее одного года.

Каждый уровень организации включает три — четыре класса стратонов по длительности их образования (см. табл. 1).

Особенность строения оболочек нашей планеты и в первую очередь ее гидросферы (1,46 млрд. км³), которая в основном (94 %) представлена Мировым океаном, предопределяет характер перераспределения материала выветривания земной коры. На Земле, в отличие от других планет Солнечной системы (Меркурия, Венеры, Марса и др.), господствует водная транспортировка материала выветривания, хотя последний состоит на всех планетах главным образом из обломков. Соответственно образование осадочных пород происходит на Земле в основном в водной среде, и прежде всего на дне Мирового океана. Осадочные и метамор-

Таблица 1

Уровни организации и иерархия стратонов и геологических циклов, им соответствующие геохронологические подразделения

Стратоны и циклы			Стратоны				Геохронологические подразделения (геологическое время)	Средняя продолжительность	
Уровни организации	Иерархия		Литомеры	Циклиты	Биомы	Магнитные интервалы			
	Типы	Классы							
Оболочки	Мега	1	Земная кора Оболочка земной коры	Циклокомплексы	Мегатема Акротема		История Земли Мегахрон	4,6* млрд. лет 1,5* млрд. лет	
		2							
		3	Структурный этаж Структурный ярус		Зонотема Эратема		Зон Эра	Зон Эра	600* млн. лет 215* млн. лет 190 млн. лет
		4							
Формации	Макро	5	Комплекс Серия Свита	Циклолитоны	Система Отдел Ярус	Период Эпоха Век	Период Эпоха Век	57 млн. лет 14 млн. лет 3,7 млн. лет	
		6							
		7							
Пачки	Мезо	8	Подсвита (субсвита) Пачка Подпачка (субпачка)	Циклотемы	Зона Звено Событие	Фаза Пора Событие	Фаза Пора Геоминута	800 тыс. лет 190 тыс. лет 40 тыс. лет	
		9							
		10							

Слои	Микро	11	Пакет Сложный полислои Простой полислои	Полислои			Эпизод Полисекунда Геосекунда	9,5 тыс. лет 1,6 тыс. лет 220 лет
		12						
		13						
Слойки	Нано	14	Слой Сложный полислоек Простой полислоек Пара слойков	Полислойки			Вековой наноцикл Солнечный наноцикл Геотерция Год	60 лет 13 лет 3,5 лет 1 год
		15						
		16						
		17						
Пульситы	Пико	18	Слоек Лунный пульсит Суточный пульсит Трехчасовой пульсит	Пульситы			Сезонный пикоцикл Лунный пикоцикл Суточный пикоцикл "Трехчасовой" пикоцикл	3 месяца 14 дней 1 день 160 минут
		19						
		20						
		21						

Примечания: 1. Отмечено звездочкой — для всей истории Земли, без звездочки — для фанерозоя. 2. Жирным шрифтом выделены наиболее важные геохронологические подразделения, играющие роль единиц времени для мега-, макро-, мезо-, микро-, нано- и пикоциклов: геологические эры, века, минуты, секунды, а также годы и сутки.

фические горные породы слагают основную часть оболочек земной коры, ее стратисферу, которая представляет собой уникальную "библиотекку", хранящую все события почти пятиллиарднолетней истории Земли.

По данным А.П. Лисицына, в Мировой океан за один год поступает около 27 млрд. т осадочного материала, в том числе 22,6 млрд. т (84 %) терригенного и глинистого, 2–3 млрд. т (9 %) вулканогенного, около 2 млрд. т (7 %) биогенного и примерно 0,5 млн. т (0,02 %) космогенного. Терригенный обломочный и глинистый материал в основном поставляется речным стоком (18,5 млрд. т в год, или 70 %), в виде золотых (около 1,7 млрд. т в год, 6 %) и ледниковых отложений (1,5 млрд. т в год, 6 %), вследствие абразии берегов и дна (около 0,5 млрд. т в год, 2 %). Биогенный осадочный материал представлен карбонатными (1,4 млрд. т в год, 5 %) и кремнистыми (0,5 млрд. т в год, 2 %) образованиями.

В сводке А.Б. Ронина, В.Е. Хаина и других суммарный объем осадочных и вулканогенных отложений в пределах современных материков за фанерозой составляет 638 млн. км³, или $1,37 \cdot 10^{18}$ т. Обломочные и глинистые формации фанерозоя материков составляют (в %): 65,5, карбонатные 17,7, вулканогенные 15,8, эвапоритовые 1,0. Обломочные и глинистые формации антропогена материков составляют (в %): 88,5, карбонатные 2,1, вулканогенные 9,3, эвапоритовые 0,1.

Если учесть изложенное, то фанерозойские осадочные и вулканогенные формации земной коры представлены в основном (в %) терригенным обломочным и глинистым (57,3), а также биогенным (29,2), вулканогенным (13,0), хемогенным (0,5) и космогенным (0,02) материалом.

Земная кора, или мегациклит первого класса, образовалась за 4,6 млрд. лет в результате дифференциации первичного вещества планеты и геологических процессов — денудации, седиментации, складчатости, метаморфизма, магматизма, орогенеза и других — в ходе деструкционно-аккреционного развития в условиях меняющихся радиуса Земли, ее объема и поверхности.

Оболочки земной коры. Материковая земная кора со средней мощностью 40 км состоит из трех оболочек: осадочной, гранитно-метаморфической и "базальтовой". Океаническая земная кора сложена двумя оболочками: осадочной и базальтовой. Перечисленные оболочки характеризуются плотностью (d), скоростью распространения продольных (v_p) и поперечных (v_s) упругих волн: осадочная — $d = 1,8 \div 2,5$ г/см³, $v_p = 1 \div 4$ км/с; гранитно-метаморфическая — $d = 2,5 \div 2,7$ г/см³, $v_p = 5,5 \div 6,2$ км/с; $v_s = 3,0 \div 3,7$ км/с; "базальтовая" — $d = 2,75 - 3,0$ г/см³, $v_p = 6,1 \div 7,4$ км/с, $v_s = 3,7 \div 4,0$ км/с.

К перечисленным физическим характеристикам предлагается добавить геологические: состав пород и их возраст. Б.В. Григорьянц считает, что консолидированные горные породы — глинистые сланцы, известня-

ки, песчаники и другие — имеют плотность $d = 2,5 \div 2,7 \text{ г/см}^3$, идентичную плотности изверженных и метаморфических горных пород — гранитов, гнейсов и др. В связи с этим к гранитно-метаморфической оболочке кроме метаморфических пород и гранитов относятся также консолидированные осадочные породы. Последние, слагающие цоколи молодых платформ и современные складчатые области, имеют в основном неогейский (0,2–1,6 млрд. лет) возраст, в то время как метаморфические породы и граниты чаще слагают цоколи древних платформ и имеют донеогейский (свыше 1,6 млрд. лет) возраст. В связи с этим предлагается разделить гранитно-метаморфическую оболочку земной коры на две: протогейскую, представленную в основном метаморфическими породами и гранитами и слагающую цоколи древних платформ, и неогейскую, образованную консолидированными осадочными породами и образующую цоколи молодых платформ. Нижние этажи чехлов древних платформ, имеющие неогейский возраст, как правило, также включают слабоконсолидированные породы с повышенной плотностью.

Нижняя, "базальтовая" оболочка материковой земной коры обнажена в некоторых районах Балтийского и Анабарского щитов [10]. Она сложена преимущественно метаморфическими породами гранулитовой фации метаморфизма, среди которых основную роль играют плагиогнейсы с гранатом и пироксеном при почти полном отсутствии слюд. Здесь присутствуют анортозиты, чарнокиты, а также другие основные интрузивные породы. Именно такой комплекс пород обнажается на кристаллических щитах там, где предполагается отсутствие гранито-гнейсового слоя. Поэтому правильнее называть этот слой не "базальтовым", а "гранулитобазитовым" [10]. "Базальтовая" оболочка земной коры, по мнению В.Е. Хаина, сложена породами древнего, катархейского возраста, возникшими на самой ранней стадии формирования коры, в период от 4,5 до 3,5 млрд. лет. Автор предлагает называть эту оболочку археогейской.

Верхняя, "осадочная", или лучше неконсолидированная осадочная, оболочка, слагает на материках чехлы платформ, краевые и межгорные прогибы, а также осадочный слой земной коры океанического типа и имеет, как правило, наиболее молодой (менее 0,2 млрд. лет), кайногейский возраст. В связи с этим предлагается именовать ее кайногейской (табл. 2). Таким образом, самая молодая, кайногейская оболочка характерна для земной коры и материкового, и океанического типов.

В океанах ниже кайногейского осадочного чехла залегает сравнительно маломощный базальтовый слой, имеющий как кайногейский (молодые Атлантический и Индийский океаны, восточная часть Тихого океана) и более древний, неогейский (западная часть Тихого океана) возраст.

Археогейская (2,3–4,6 млрд. лет), протогейская (1,6–3,2 млрд. лет), неогейская (0,2–1,6 млрд. лет) и кайногейская (менее 0,2 млрд.

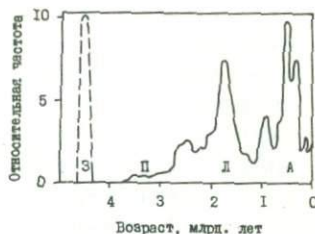
Миллиарды лет	Мегахроны		Зонотемы	Оболочки земной коры				
	№	Наименование		Наименование революций, связанных со сжатием Земли	Колонка	Наименование	Структурные этажи	
-1 0	0,0-1,0 млрд. лет вперед	4	Кайногей			Кайногейская, неконсолидированная осадочная	Чехлы платформ, осадочная оболочка молодых океанов	
	0,0-0,2							
1	0,2-0,4	3	Неогей	Ардуинская	C-Q	Неогейская, консолидированная осадочная	Фундаменты молодых платформ, чехлы древних платформ	
	0,4-1,6							
2	1,6-1,8	2	Протогей	Лоусонская	Протерозойская	++ ++ ++ ++	Протогейская, „гранитная“	Фундаменты древних платформ
	1,8-3,2							
3	3,2-3,5	1	Археогей	Павловская	Архейская	I I I I I I I I	Археогейская, „базальтовая“	Фундаменты древнейших „ядер“ платформ
	3,5-4,6							

лет) оболочки земной коры являются продуктом геологического развития мегациклов второго класса (см. табл. 1) со средней продолжительностью 1,5 млрд. лет [6]. Эти циклы хорошо видны на рис. 1. Каждый мегацикл закончился аккрецией — образованием складчатых и разрывных нарушений, скучиванием, метаморфизмом и массовым внедрением интрузий, образованием молодых складчатых сооружений и в конечном счете формированием новых фрагментов земной коры материкового типа. Археогейский мегацикл второго класса закончился аккрецией (“революцией”) Павлова (3,2—3,5 млрд. лет), протогейский — Лоусона (1,6—1,8 млрд. лет). Первая аккреция была установлена в 1922 г. А.П. Павловым как окончание “лунной эры” развития Земли. Вторая революция впервые была намечена в 1930 г. А. Лоусоном, который указал на огромное геологическое значение периода, отделявшего докембрий В от докембрия С (по Г. Штилле). Последняя “революция” впервые была отмечена в 1759 г. Дж. Ардуино как рубеж первичного и вторичного “периодов” развития Земли.

Начало мегахронов, или мегациклов второго класса, характеризовалось деструкцией земной коры материкового типа, образованием рифтов, спредингом, формированием молодых океанов, накоплением осадков прежде всего у подножия материковых склонов и в пелагических частях океанов, образованием новой неконсолидированной осадочной оболочки.

Итак, в развитии Земли выделяются четыре основные стратона — археогейский, протогейский, неогейский и кайногейский. В начале их образования в условиях глобального расширения и деструкции форми-

Рис. 1. Гистограмма величин возраста магматических горных пород (сплошная линия) и метеоритов (пунктирная линия) на шкале геологического времени, в основном по Л. Шульцу (1982)



З — образование Земли; "революции" (аккреции): П — Павлова, Л — Лоусона, А — Ардуино

ровались молодые океаны, неконсолидированные осадочные оболочки. В заключительные фазы мегациклов второго класса, во время аккреций ("революций") Павлова, Лоусона, Ардуино, последние превращались в консолидированные оболочки, новые фрагменты материковой земной коры. Это происходило в условиях глобального сжатия. Фазы мегациклов второго класса, глобального растяжения и сжатия связаны с изменением радиуса Земли за счет смещения границы ядра и мантии, разуплотнения вещества внешнего ядра в начальные фазы и превращением его в силикаты мантии, а во время "революций" Павлова, Лоусона, Ардуино, наоборот, — за счет "расплавления" силикатов мантии, превращения их в образования внешнего ядра. Причины смещения границы ядра и мантии Земли следует искать в космосе и связывать их с меняющейся плотностью звездного вещества и других космических объектов на пути движения Солнечной системы.

Стратоны третьего класса (см. табл. 1) соответствуют циклокомплексам третьего класса, структурным этажам, зонотемам и магнитным зонам. Длительность их формирования в среднем составляет 600 млн. лет. В истории Земли выделяется восемь стратонов третьего класса: катархей, эпиархей, беломорий, карелий, зорифей, эпирифей, палеозой и неозой. Каждый мегацикл третьего класса заканчивался сжатием Земли, ее разогревом, массовым внедрением интрузий, региональным метаморфизмом.

Стратоны четвертого класса [6] соответствуют геологическим эрам, структурным ярусам, мегациклитам, или циклокомплексам четвертого класса, эрагемам и магнитным эрам. Средняя продолжительность их образования составляет 215 млн. лет для всей истории Земли и 190 млн. лет для фанерозоя. Всего выделяется 21 стратон четвертого класса (белозерский, трансваальский, кеноранский, эбурнейский, карельский, мазатцильский, готский, гренавильский, делийский, байкальский, каледонский, герцинский, альпийский и др.). Предполагается, что стратоны четвертого класса отражают циклы развития земной коры, связанные с периодами обращения Солнечной системы вокруг ядра нашей Галактики. Здесь также наблюдаются деструкционно-аккреционные процессы, но меньшего масштаба по сравнению с таковыми при развитии стратонов третьего и второго классов.

Стратоны пятого класса соответствуют геологическим периодам, макроциклитам, или циклолитонам пятого класса, комплексам, системам и магнитным периодам: Их средняя продолжительность в фанерозое составляет 57 млн. лет. В основу общепринятого подразделения геологической истории Земли на периоды наряду с изменением органического мира положена, по А.Д. Архангельскому, Н.С. Шатскому, В.В. Меннеру, Е.В. Павловскому, Н.П. Хераскову, хотя и неосознанно идея тектонических циклов. Выделяются (в основном в фанерозое) периоды: вендский, кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный, пермский, триасовый, юрский, меловой, палеогеновый, неогеновый и четвертичный (антропогеновый). Разделение третичного периода длительностью всего 60 млн. лет на самостоятельные палеогеновый и неогеновый периоды не утверждено Международным геологическим конгрессом и вряд ли целесообразно.

Стратоны шестого класса соответствуют геологическим эпохам, циклолитонам шестого класса, сериям, отделам, магнитным эпохам. Продолжительность их формирования в среднем 14 млн. лет. Некоторые эпохи имеют собственные названия: лейас, доггер, мальм, палеоцен, эоцен, олигоцен, миоцен. Названия других воспроизводятся из наименований геологических периодов с добавлением слов: ранне-, средне-, поздне- (например, раннекембрийская эпоха и т.д.).

Стратоны седьмого класса соответствуют геологическим векам, циклолитонам седьмого класса, свитам, ярусам, магнитным векам. Длительность их образования в среднем 3,7 млн. лет. Все геологические века имеют собственные названия: алданский, ленский. . . , калабрийский сицилийский (табл. 3). Часто они связаны с колебанием уровня океана (рис. 2).

Стратоны восьмого класса соответствуют геологическим фазам, мезоциклитам (циклотемам) восьмого класса, подсвитам (субсвитам), биоэонам, магнитным фазам. Продолжительность их образования в среднем составляет 800 тыс. лет. Собственные названия употребляются только по отношению к биоэонам. Наименования подсвит воспроизводятся от названий свит (например, нижне-, средне- и верхнекуниковская подсвиты).

Стратоны девятого класса соответствуют мезоциклитам (циклотемам) девятого класса, пачкам, звеньям геохронологическим и магнитным подразделениям, которые называются пора и магнитная пора. Длительность их образования в среднем равна 190 тыс. лет. Собственные названия употребляются только для обозначения маркирующих пачек и некоторых магнитных интервалов. Подразделения плейстоцена принято называть ранней, средней и поздней порой.

Стратоны десятого класса соответствуют геологическим минутам, мезоциклитам (циклотемам) десятого класса, подпачкам (субпачкам), событиям и магнитным событиям. Продолжительность их образования

Таблица 3

Геологический возраст начала и продолжительности веков и фаз

Период	Эпоха	Век	Фаза*	Число оценок		Начало века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет		Продолжительность века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет	
				общее	хороших				
Четвертичный		Сицилий		3	3	0,69	0,01	0,69	0,01
		Калабрий		12	5	1,78	0,01	1,09	0,01
Неогеновый	Плиоценовая	Пьяченций Занклий		3	2	3,18	0,03	1,40	0,03
				5	3	5,16	0,03	1,98	0,04
	Миоценовая	Мессиний Тортонский Серравалий Лангий Бурдигальский Аквитанский		4	3	6,87	0,10	1,71	0,10
				5	2	11,15	0,19	4,28	0,21
				3	1	12,50	0,18	1,35	0,26
				3	2	16,68	0,14	4,18	0,23
	4	2	19,60	0,13	2,92	0,19			
	29	9	24,32	0,09	4,72	0,16			
Палеогеновый	Олигоценовая	Хатский Рупельский		10	9	32,34	0,13	8,02	0,16
				25	10	35,93	0,13	3,59	0,18
	Эоценовая	Приабонский Бартонский Лютетский Ипрский		9	5	40,91	0,30	4,98	0,33
				19	10	43,99	0,22	3,08	0,37
			20	12	50,26	0,10	6,27	0,24	
	29	14	54,90	0,07	4,64	0,12			
Палеоценовая	Танетский Монтский		21	9	59,83	0,23	4,93	0,24	
			24	4	61,90	0,16	2,07	0,28	
Меловой	Поздняя	Датский	П	4	3	64,75	0,10	2,85	0,19
		"	Р	48	40	65,88	0,05	1,13	0,11
		Маастрихтский	П	4	1	67,89	0,07	2,01	0,09
		"	Р	33	10	70,90	0,09	3,01	0,11
		Кампанский	П	5	1	79,96	0,09	9,06	0,13
		"	Р	33	18	82,61	0,09	2,65	0,13
		Сантонский	П	4	1	84,61	0,08	2,00	0,12
		"	Р	31	16	86,26	0,07	1,65	0,11
		Коньякский	П	4	1	87,19	0,05	0,93	0,09
		"	Р	31	10	88,26	0,03	1,07	0,06
		Туронский	П	4	1	90,27	0,05	2,01	0,06
		"	Р	31	16	91,63	0,07	1,36	0,08
Сеноманский	П	3	2	93,74	0,11	2,11	0,13		
"	Р	37	14	95,56	0,15	1,82	0,19		

Продолжение табл. 3

Период	Эпоха	Век	Фаза*	Число оценок		Начало века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет		Продолжительность века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет	
				общее	хороших				
Меловой	Ранняя	Альбский		23	9	106,0	0,4	10,32	0,43
		Аптский		18	9	112,9	0,5	6,9	0,7
		Барремский		14	7	119,1	0,6	6,2	0,8
		Готеривский		15	6	125,6	0,6	6,5	0,8
		Валанжинский		13	6	134,0	0,6	8,4	0,9
		Берриасский		33	20	138,2	0,3	4,2	0,7
	Поздняя	Титонский		9	6	148,6	0,6	10,4	0,7
		Кимериджский		9	5	155,2	0,7	6,6	0,9
		Оксфордский		9	6	160,8	0,6	5,6	0,9
		Келловейский		9	6	165,7	0,8	4,9	1,0
Юрский	Средняя	Батский		6	4	171,5	1,3	5,8	1,5
		Байосский		7	5	177,6	1,0	6,1	1,6
		Ааленский		6	3	183,6	2,5	6,0	2,7
	Ранняя	Тоарский		7	4	189,5	1,7	5,9	2,7
		Плинсбахский		7	4	195,6	0,9	6,1	1,9
		Синемюрский		6	3	202,7	1,8	7,1	2,0
		Геттангский		18	4	208,7	2,4	6,0	2,7
Триасовый	Поздняя	Рэтский		5	3	218,2	1,7	9,5	2,9
		Норийский		5	3	222,1	1,7	3,9	1,8
		Карнийский		7	4	230,6	1,0	8,5	2,0
	Средняя	Ладинский		5	4	235,4	1,5	4,8	1,8
		Анизийский		7	4	240,6	1,1	5,2	1,9
	Ранняя	Оленёкский		1	0	243,2	2,8	2,6	1,2
Индский			21	6	245,8	0,6	2,6	1,2	
Пермский	Поздняя	Татарский		6	4	251,4	0,8	5,6	1,0
		Казанский		4	4	254,8	3,6	3,4	1,6
		Уфимский		5	4	257,0	1,6	2,2	1,0
	Ранняя	Кунгурский		7	5	266,8	1,4	9,8	2,1
		Артинский		6	5	271,1	1,4	4,3	2,0
		Сакмарский		2	2	280,0	2,3	8,9	2,7
		Ассельский		21	10	286,8	0,7	6,8	2,4
Поздняя	Гжельский	Касимовский		2	1	295,2	3,4	8,4	3,5
				7	6	300,8	1,3	5,6	2,8

Продолжение табл. 3

Период	Эпоха	Век	Фаза*	Число оценок		Начало века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет		Продолжительность века (фазы) и вероятная ошибка, млн. лет		
				общее	хороших					
Каменноугольный	Средняя	Московский	Башкирский	3	3	307,0	1,1	6,2	1,7	
				8	7	317,0	1,4	10,0	1,8	
	Ранняя	Серпуховской	Визейский	7	5	328,4	1,7	11,4	2,2	
				5	3	346,2	3,3	17,8	3,7	
		Турнейский		22	10	353,5	1,4	7,3	3,3	
Девонский	Поздняя	Фаменский	Франский	5	3	362,6	2,5	9,1	2,9	
				8	5	371,3	1,8	8,7	3,1	
	Средняя	Живетский	Эйфельский	4	2	366,4	3,3	6,1	2,8	
				8	5	381,0	2,7	3,6	1,6	
				5	2	390,1	4,9	9,1	4,2	
		Эмский		5	3	401,1	2,7	11,0	5,0	
		Жединский		23	8	409,6	1,2	8,5	3,0	
Силурийский	Поздняя	Даунтонский	Лудловский	3	1	414,0	4,7	4,4	2,0	
				5	5	419,0	3,9	5,0	2,3	
	Ранняя	Венлокский	Пландоверийский	4	3	425,4	1,6	6,4	2,9	
				23	14	437,8	1,3	12,4	2,1	
Урдовикский	Поздняя	Ашгиляский	Карадокский	5	3	444,3	2,6	6,5	2,9	
				2	2	450,0	2,8	5,7	2,6	
	Средняя	Карадокский	Лландейльский	Планвирнский	6	4	455,0	2,4	5,0	2,3
					5	4	462,7	3,3	7,7	3,5
					6	5	474,3	1,9	11,6	3,8
	Ранняя	Аренигский	Тремадокский		5	4	493,1	2,8	18,8	3,4
23					10	504,4	1,7	11,3	3,3	
Камбрийский	Поздняя	Тремпилионский	Франконский	2	2	507,1	2,6	2,7	1,2	
				2	2	512,2	2,7	5,1	2,3	
				8	8	517,6	2,4	5,4	2,5	
Средняя	Майский	Амгинский		2	2	528,6	4,6	11,0	5,0	
				8	8	541,9	2,4	13,3	5,2	
Ранняя	Ленский	Алданский		2	1	558,6	6,4	16,7	6,8	
				22	10	571,3	2,1	12,7	5,8	

*Р — ранняя, П — поздняя фаза.

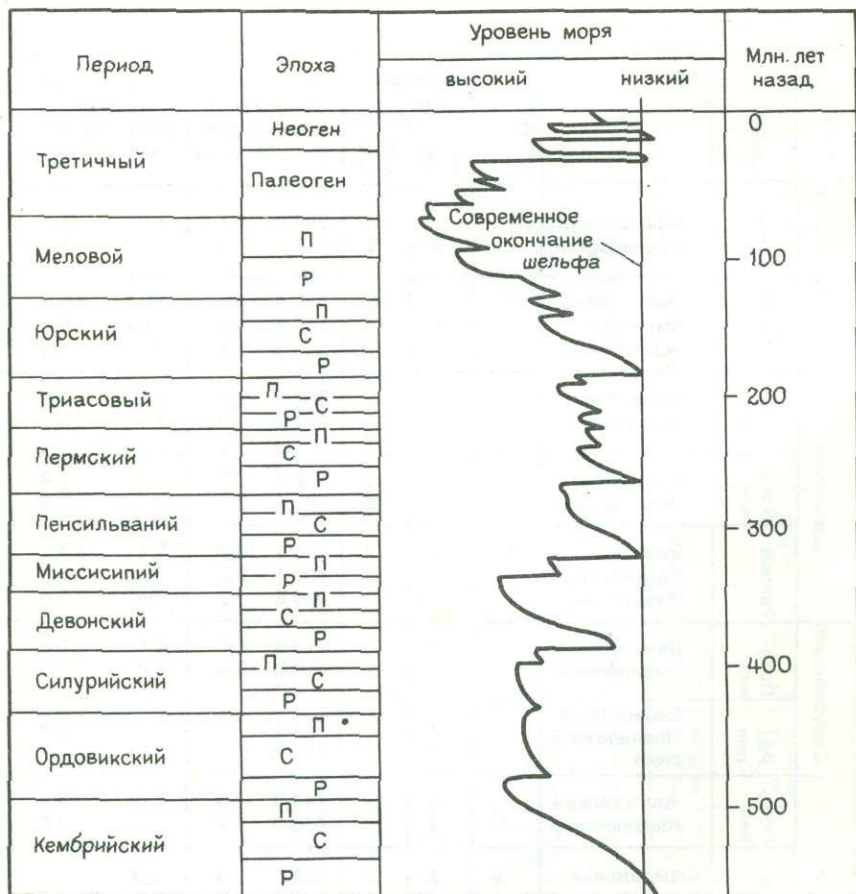


Рис. 2. Кривая изменения уровня моря для фанерозойского времени, по Р. Вейлу и др. (1982)

Эпохи: П – поздняя, Р – ранняя, С – средняя

в среднем равна 40 тыс. лет. Собственные названия имеют некоторые магнитные события и маркирующие подпачки.

Стратоны 11-го класса соответствуют геологическим эпизодам и пакетам, микроциклитам этого класса. Средняя их продолжительность составляет 9,5 тыс. лет. Не выделено ни одной биомы (кроме голоцена) такой продолжительности, и лишь единицы магнитных эпизодов принадлежат к этому классу. Начиная с 11-го класса практически все стратоны выделяются только по литологическим признакам, а длительность их образования не может быть оценена ни одним современным изотопным

4783

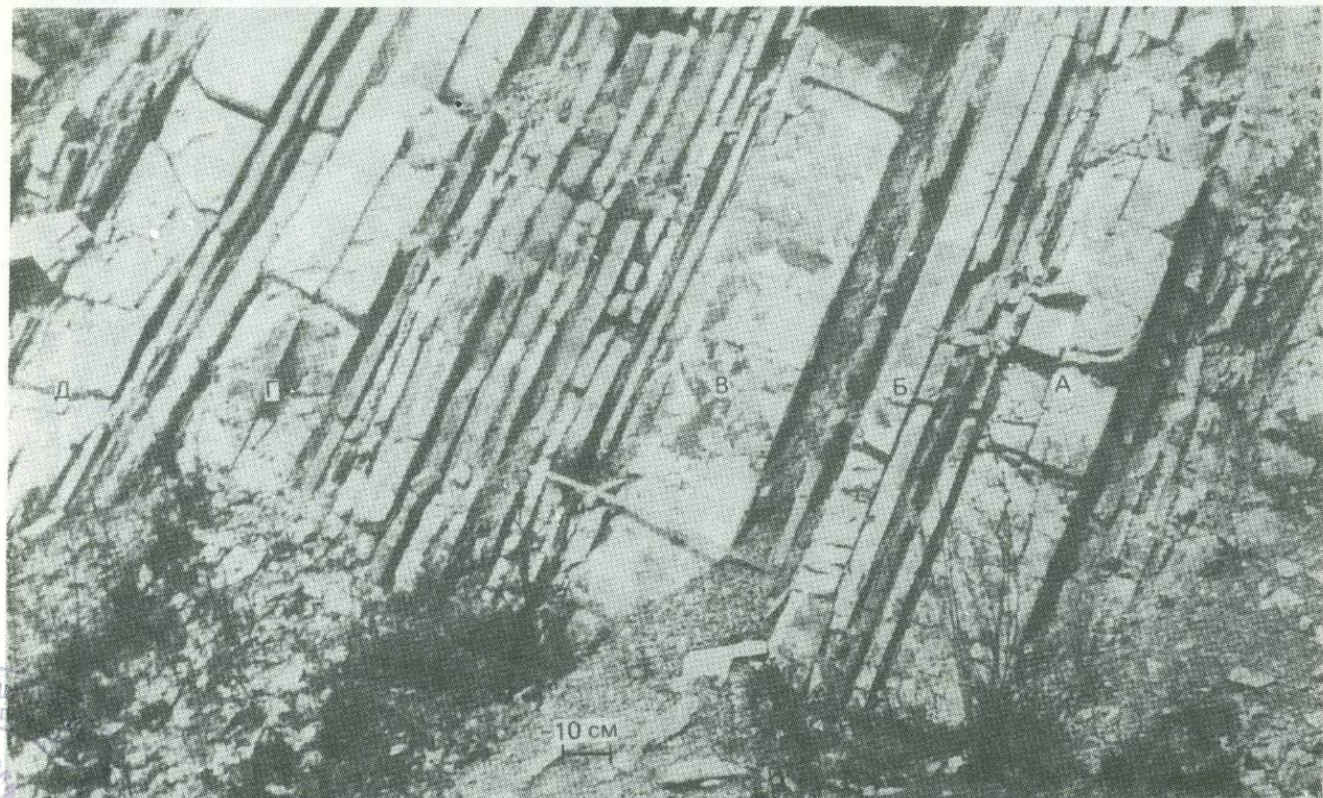


Рис. 3. Фрагмент биогенного тонкого инфрафлиша

методом. Исключение составляет новейший стратон 11-го класса — голоцен.

На рис. 3 показаны фрагмент биогенного тонкого инфрафлиша третьей пачки второй подсвиты натухайской свиты, в 63–69 м выше подошвы подсвиты (верхний турон, Андреевский разрез Северо-Западного Кавказа), или 3-й циклит 10-го класса третьего циклита 9-го класса верхнетуронско-нижнеконьякского циклита 8-го класса (Ц-8). Белые слои биогенных высоких известняков (III ЭЦ) имеют толщину (М) от 10 до 452 мм, чаще 10–18 мм (два слоя), в среднем $M_1 = 14$ мм; 35–45 мм (четыре слоя), в среднем $M_2 = 40$ мм; 47–56 мм (три слоя), в среднем $M_3 = 53$ мм; 64–75 мм (восемь слоев), в среднем $M_4 = 69$ мм. Соотношение $M_1 : M_2 : M_3 : M_4 = 14 : 40 : 53 : 69 \approx 1 : 2 : 3 : 4$, что свидетельствует о наличии моноциклитов, дициклитов, трициклитов и тетрациклитов 13-го класса со средней мощностью моноциклитов $M = 18$ мм, которая соответствует одному кванту седиментации, равному геологической секунде, или 234 годам (в конце позднего турона). Средняя продолжительность образования одного натурального циклита с III ЭЦ составляет 1540 лет, что соответствует циклу 12-го класса.

Сорок натуральных циклитов образуют пять элементарных циклитов 11-го класса, каждый из которых начинается с тонкого переслаивания I, II и III ЭЦ со средней мощностью слоев 36 мм (первый элемент цикла 11-го класса, I ЭЦ-11) и заканчивается крупными, в среднем трехдециметровыми слоями биогенных известняков III ЭЦ с редкими (6 %) сантислоями (в среднем 23 мм) известковистых и глинистых мергелей (второй элемент циклита 11-го класса, II ЭЦ-11). Пять пакетов, слагающих II ЭЦ-11, представлены на рис. 3 светлыми широкими полосами, обозначенными буквами: А, Б, В, Г и Д. На рис. 4 показан элементарный циклит 11-го класса (Ц-11), — третий Ц-11 третьего Ц-10, третьего Ц-9, третьего верхнетуронско-нижнеконьякского Ц-8, второго, натухайского Ц-7, третьего, маркотхского Ц-6, второго, новороссийского Ц-5, первого кавказского Ц-4, первого, альпийского Ц-3, четвертого, неогейского Ц-2; индекс 411-232-333-3, где первая цифра соответствует номеру Ц-2, вторая — номеру Ц-3, третья — номеру Ц-4 и т. д. до Ц-11. Фрагмент биогенного тонкого инфрафлиша третьей пачки верхнетуронской второй подсвиты натухайской свиты (Андреевского разреза Новороссийского района Северо-Западного Кавказа) в 66 м от ее подошвы (см. центральную часть рис. 3). В правой части рис. 4 между двумя самыми крупными светло-серыми слоями расположен 72-сантиметровый пакет переслаивающихся серых известняковых алевролитов I ЭЦ, темно-серых алевролитистых глинистых мергелей II ЭЦ и светло-серых биогенных известняков III ЭЦ со средней мощностью слоев 48 мм; назовем этот пакет первым элементом Ц-11 (I ЭЦ-11). В левой части рис. 4 расположен 58-сантиметровый пласт биогенного известняка

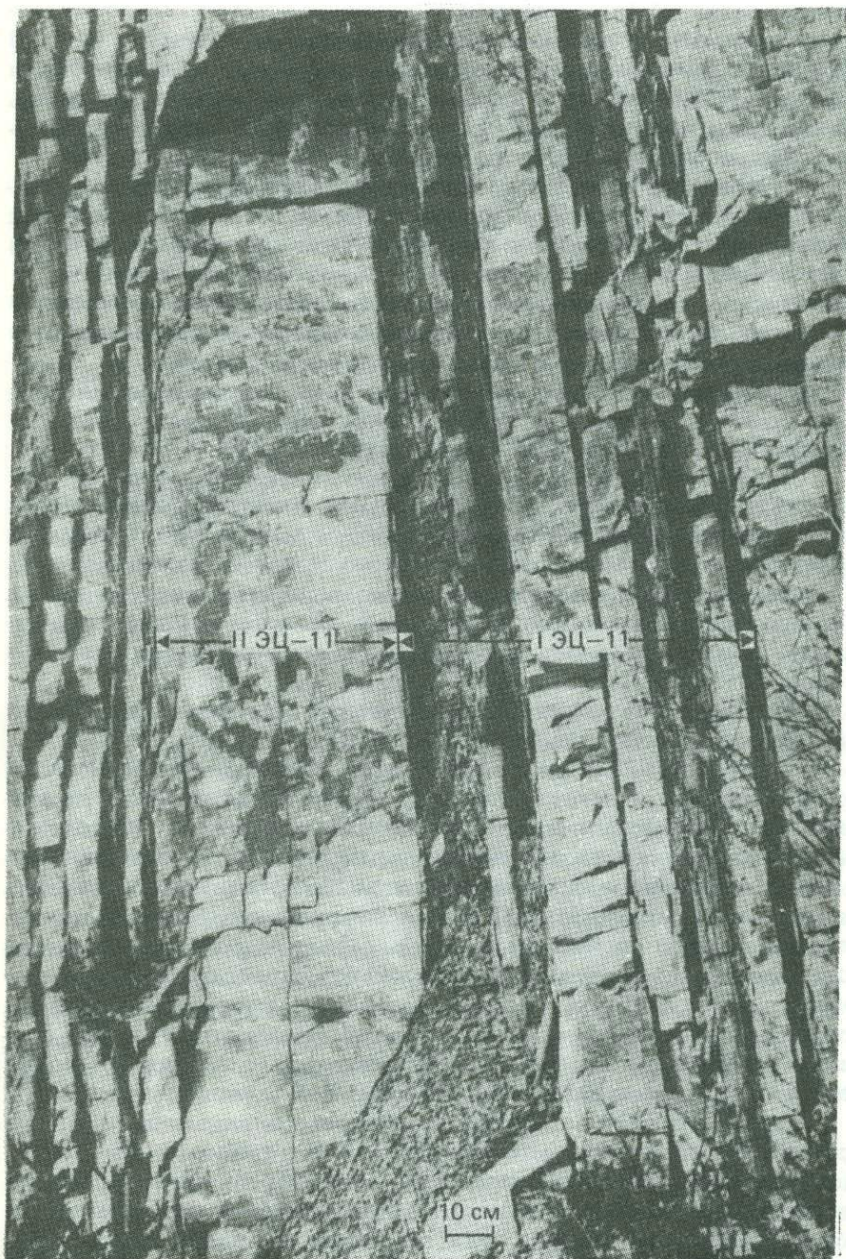


Рис. 4. Элементарный циклит 11-го класса

III ЭЦ с едва заметным двухмиллиметровым прослойком известнякового алевролита в середине; назовем его вторым элементом Ц-11 (II ЭЦ-11). Средняя длительность образования Ц-11, 11,0 тыс. лет. Общая мощность Ц-11 130 см. В полевых условиях такие Ц-11 назывались "метровыми пакетами". При составлении сводных колонок первая генерализация слоев проводилась до "метровых пакетов".

Стратоны 12-го класса соответствуют сложным полислоям, микроциклитам этого класса, продолжительность образования которых оценивается геологическими полисекундами, в среднем равными 1,6 тыс. лет.

Стратоны 13-го класса соответствуют простым полислоям, или циклитам 13-го класса, длительность образования которых оценивается геологическими секундами, в среднем равными 240 годам.

Стратоны 14-го класса соответствуют обычно слоям, наноциклитам 14-го класса, длительность образования которых оценивается вековыми наноциклами, в среднем равными шестидесяти годам.

Стратоны 15-го класса соответствуют сложным полислоям, или наноциклитам этого класса, продолжительность образования которых оценивается солнечными наноциклами, в среднем равными тридцати годам.

Стратоны 16-го класса соответствуют простым полислоям, или наноциклитам 16-го класса, длительность образования которых оценивается геологическими терциями, в среднем равными трем с половиной годам.

Стратоны 17-го класса [6] соответствуют годичным парам слоев (слоев), варвам или наноциклитам 17-го класса.

Стратоны 18–21-го классов соответствуют пикоциклитам, или пульсам таких же классов, в том числе трехмесячным сезонным, двухнедельным лунным, суточным и трехчасовым пикоциклам. На геологическом материале доказано существование первых трех классов пикоциклов и соответствующих им стратонов 18–20-го классов. Реальность существования трехчасовых пикоциклов и стратонов 21-го на том же материале пока не подтверждена, они выделяются только на основании современных наблюдений. Несмотря на кратковременность формирования, стратоны 18–21-го классов – важнейшие геологические маркеры, образовавшиеся практически "мгновенно". К ним относятся вспышки вулканической деятельности, зафиксированные в осадках прослоями пеплов, обвальными и оползневыми брекчиями, олистостромами и т. д.

Первые указания на периодическую смену суши и моря находим в сочинениях греческого естествоиспытателя и философа Аристотеля, который писал в "Метеорологии", что одни и те же места не остаются всегда землею, либо всегда морем. Море приходит туда, где прежде была суша; суша вернется туда, где теперь мы видим море. Нужно притом думать, что эти изменения следуют одно за другим в известном порядке и представляют известную периодичность. Подобные взгляды

на смену суши и моря высказывали древнегреческий географ и историк Страбон, а также крупнейший римский ученый Плиний Старший.

Леонардо да Винчи был, по-видимому, одним из первых исследователей, который установил, что горные породы залегают слоями. Н. Стенсен (Стенониус, Стено) сформулировал основные принципы, не утратившие значения до настоящего времени: принцип первичного горизонтального залегания слоев, принцип протяженности слоя — “или же он покрывал весь земной шар”, принцип соответствия последовательности слоев их относительному возрасту. Анализируя геологическую историю Тосканы, Н.Стенсен выделил первые циклы седиментации (первый — третий, четвертый — шестой этапы развития Тосканы) и их фазы: 1) трансгрессия моря и седиментация (первый и четвертый этапы развития Тосканы), 2) регрессия моря (второй и пятый этапы), 3) “обрушение слоев”, приобретение ими “разных наклонных положений” (третий и шестой этапы). М.В. Ломоносов в 1763 г. писал, что „великую перемену причиняют на земной поверхности знатные наводнения и потопы, кои коль многократно случалось, гласят разные слои земные”*.

Первая стратиграфическая схема была предложена в 1756 г. членом Петербургской академии наук И.Г. Леманом, который выделил неслоистые первичные породы, слоистые отложения потопа и неконсолидированные осадки, накопившиеся после потопа. Позднее Дж. Ардуино на примере Итальянских Альп выделил первичные, вторичные, третичные и аллювиальные отложения, получившие впоследствии название четвертичных. К первичным Дж. Ардуино относил породы без органических остатков, ко вторичным — мраморы и известняки с остатками морских раковин, к третичным — гравийные, глинистые и мергельные образования с обильными остатками фауны. И.И. Эйхфельд отнес к первичным нижне-среднеюрские (как мы теперь их называем) образования, ко вторичным — отложения верхней юры и мела, к третичным — породы палеогена и неогена. В современной геохронологической шкале сохранены термины “четвертичный” и “третичный” по отношению к двум последним периодам в истории Земли. В СССР по решению Междуправительственного стратиграфического комитета с 1960 г. принято деление третичной системы Дж. Ардуино на две самостоятельные системы: палеогеновую и неогеновую. Наименее достоверной оказалась граница между первичными и вторичными образованиями. По Дж. Ардуино, ее повсеместно следовало проводить по подошве кембрия, но из-за отсутствия или весьма незначительного наличия фауны ее поднимали гораздо выше, вплоть до основания верхнеюрских отложений.

На смену примитивному количественному биостратиграфическому методу Дж. Ардуино (нет/есть, мало/много фаунистических остатков) пришел качественный биостратиграфический метод, основанный на

* Ломоносов М. В. О слоях земных. Госгеолиздат. М. — Л., 1949, с. 48.

необратимой эволюции органического мира. Еще Леонардо да Винчи, когда проводил инженерные работы в Северной Италии, заметил, что слою осадочных пород в вертикальном разрезе содержат разные ископаемые остатки морских животных. Впоследствии неоднократно отмечалось, что пласты морских осадочных пород одного возраста содержат одинаковые остатки древних организмов [12]. Работами ряда палеонтологов и стратиграфов прошлого всего за 20 лет (1822—1841 гг.) была создана современная геохронологическая шкала. Были выделены меловая и каменноугольная системы, затем юрская, триасовая, кембрийская и силурийская и, наконец, девонская и пермская. Палеонтологический метод позволял расчленять системы на отделы, отделы на ярусы, ярусы на зоны. Одним из первых был выделен неокомский надъярус, далее — аптский, альбский и туронский ярусы и т. д. Геохронологическая шкала совершенствуется и в настоящее время. Решением Международного геологического конгресса в 1960 г. силурийская система была разделена на две самостоятельные системы: ордовикскую и силурийскую. Одной из причин такого разделения послужила повышенная продолжительность образования силурийской системы Мурчисона (95 млн. лет). В последние годы выделены ярусы: дресбачский, франконский, тремпелонский (верхний кембрий), занклий, пьяченций (плиоцен) и др. Геологические группы (эратемы) выделены более ста лет назад: палеозойская, мезозойская и кайнозойская, архейская, протерозойская. Две эонотемы выделены в 1930 г. — фанерозойская и криптозойская.

ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ

В 1981 г. Б.М. Келлер отметил, что без сомнения геохронологическая шкала фанерозоя является крупнейшим достижением современной геологии. Однако стратиграфам и геохронологам предстоит еще большая работа по обоснованию этой шкалы. Созданная на основе биостратиграфического метода геохронологическая шкала фанерозоя имеет существенный недостаток — она безразмерна. И хотя геологические периоды были выделены на основе палеонтологического метода удивительно корректно — все одного ранга, за исключением силурийского, эта шкала не давала ответа на вопрос о длительности тех или иных стратонов, а следовательно, не позволяла решать проблемы, связанные с анализом темпов геологических процессов.

Первые попытки установить геологический возраст всей истории Земли или отдельных ее этапов предпринимались давно.

Э. Галлей применил метод, который впоследствии получил название метода песочных часов, предложил расчет возраста Мирового океана по его солёности и жесткости речных вод, полагая, что первоначально океан был пресным. По расчетам Э. Галлея возраст Мирового

океана оказался больше 10 тыс. лет. В начале XX в. метод Галлея использовали Д. Джоли и другие исследователи. По их расчетам, возраст океана составил 350–90 млн. лет [12].

Разновидность седиментационного метода песочных часов [48] основана на оценке максимальной мощности осадочных формаций при допущении, что скорость осадконакопления оставалась неизменной на протяжении всей истории Земли. Дж. Филлипс определил максимальную мощность осадочных формаций 22 км и, полагая, что скорость осадконакопления составляла в среднем 0,23 мм в год, вычислил возраст Земли равным 96 млн. лет. Но С. Хогтон установил, что максимальная мощность осадочных формаций соответствует 54 км и, допуская, что скорость осадконакопления была в среднем 0,035 мм в год, рассчитал возраст Земли 1526 млн. лет; ошибка подсчета составила всего лишь 300 %.

Наиболее эффективным рассматриваемый метод оказался при определении относительной длительности стратиграфических интервалов. Например, Г. Дана определил, что относительная длительность кайнозоя, мезозоя и палеозоя равна соответственно 14, 28 и 58 % продолжительности фанерозоя. По оценкам современной геохронологической шкалы (см. табл. 3) это составляет соответственно 11,4, 31,6 и 57,0 %. Таким образом, метод анализа максимальных мощностей формации позволил вычислить абсолютную длительность истории Земли с точностью до одного порядка (допущена примерно трехкратная ошибка), но относительная продолжительность кайнозоя, мезозоя и палеозоя была оценена Г. Дана с относительной точностью 14 %, т. е. в двадцать раз точнее. Это свидетельствует об эффективности указанного метода при интерполяции данных даже в современных условиях, поскольку средняя относительная ошибка определения геологического возраста по изотопам в лучших шкалах не превышает 1 % (см. ниже).

В 1902 г. П. Кюри показал, что радиоактивный распад дает человеку меру времени — “эталон” времени, что процесс идет, как часы. Идеи П. Кюри не встретили понимания. Два года спустя Э. Резерфорд независимо от П. Кюри занялся изучением этого же вопроса и вместе с Б. Болтвудом установил этот факт на природных объектах — горных породах и минералах — и доказал постоянство отношений U/Ra и U/Th в земных телах [11]. Полученные Б. Болтвудом датировки возраста минералов (менее 1320 млн. лет) подтвердили расчеты С. Хогтона, полученные седиментологическим методом.

Дальнейшее успешное развитие изотопного метода связано с именем В.И. Вернадского и А. Холмса. В.И. Вернадский первым в России оценил значение радиоактивности в науках о Земле. По программе, составленной В.И. Вернадским, была организована Радиовая экспедиция Академии наук (1910–1914).

Одновременно с В.И. Вернадским в России А. Холмс в Великобри-

тании проводил исследования по установлению геологического возраста минералов и пород. Работы А. Холмса "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 геохронологическая шкала, основанная на изотопном методе (пять опорных точек) и учитывающая мощность формаций.

Изотопные методы основаны на распаде радиоактивных элементов. Примерно из 1600 природных и искусственно полученных изотопов только 272 стабильны, все остальные радиоактивны и неустойчивы. Для определения геологического возраста изотопными методами используются, естественно, долгоживущие радиоактивные изотопы. Некоторые из них показаны в табл. 4.

Разработаны следующие изотопные методы: урано-торий-свинцовый (свинцово-изотопный, или свинцовый), урано-торий-гелиевый (гелиевый), урано-ксеноновый (ксеноновый), калий-аргоновый, калий-кальциевый, рубидий-стронциевый, самарий-неодимовый, рений-осмиевый, радиоуглеродный, радиобериллиевый и радиоиониевый. При составлении современных геохронологических шкал фанерозоя используется, глав-

Таблица 4

Одиночные естественные долгоживущие радиоактивные изотопы, по Г.В. Войткевичу

Изотоп	Распространенность, %	Период полураспада, лет	Тип распада	Продукт распада
^{40}K	0,0119	$1,25 \cdot 10^9$	β (89 %) K (11 %)	^{40}Ca ^{40}Ar
^{50}V	0,25	$6 \cdot 10^{15}$	β (30 %) K (70 %)	^{50}Cr ^{50}Ti
^{87}Rb	27,85	$4,88 \cdot 10^{10}$	β	^{87}Sr
^{115}In	95,77	$6 \cdot 10^{14}$	β	^{115}Sn
^{123}Te	0,87	$1,2 \cdot 10^{13}$	β	^{123}Sb
^{138}La	0,089	$1,12 \cdot 10^{13}$	K (70 %) β (30 %)	^{138}Ba ^{138}Ce
^{142}Ce	11,07	$5 \cdot 10^{15}$	α	^{138}Ba
^{144}Nd	23,87	$2,4 \cdot 10^{15}$	α	^{140}Ce
^{150}Nd	5,60	$1 \cdot 10^{16}$	β	^{150}Sm
^{147}Sm	15,07	$1,05 \cdot 10^{11}$	α	^{143}Nd
^{152}Gd	0,20	$1,1 \cdot 10^{14}$	α	^{148}Sm
^{176}Lu	2,60	$2,2 \cdot 10^{10}$	β	^{176}Hf
^{174}Hf	0,163	$2 \cdot 10^{15}$	α	^{170}Yb
^{187}Re	62,93	$4,3 \cdot 10^{10}$	β	^{187}Os
^{190}Pt	0,0127	$6,9 \cdot 10^{11}$	α	^{186}Os

ным образом калий-аргоновый метод. Так, например, в работе [47] из 171 опорной точки для альба—эоцена, вычисленных с ошибкой менее 15 %, 158, или 92 %, определены калий-аргоновым методом, в том числе по глаукониту 73 опорные точки (42 %), в целом по породе 39 (23 %), по биотиту 20 (11 %), по санидину 19 (11 %), реже по полевым шпатам 3 (2 %), ильмениту 3 (2 %) и по плагиоклазу — одна опорная точка, или 1 %. В десяти опорных точках геологический возраст определен урано-свинцовым методом (6 %), в том числе по ураниниту 9 (5 %) и по сфену — одна (1 %). В трех опорных точках геологический возраст рассчитан рубидий-стронциевым методом (2 %), в том числе по глаукониту — две (1 %) и по биотиту — одна опорная точка (1 %) [47].

Наиболее точен и надежен в настоящее время урано-торий-свинцовый, или свинцово-изотопный метод, так как в природных радиоактивных минералах встречаются значительные количества свинца и урана. Этот метод является наиболее испытанным; он применялся еще Э. Резерфордом и Б. Болтвудом (1906). В настоящее время изотопный состав свинца определяется на масс-спектрометре. При распаде урана и тория получается радиогенный свинец в соответствии с превращениями: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$, $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$. Таким образом, по соотношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ можно вычислить геологический возраст в миллионах лет. Возможность определения возраста по соотношению разных изотопов из одного и того же геологического образца позволяет сравнивать полученные датировки и отбраковывать резко выделяющиеся из них. Опытным путем установлено, что наиболее надежные оценки получаются при расчете геологического возраста по соотношению изотопов свинца $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Итак, по Г.В. Войткевичу, радиоактивные минералы представляют собой как бы естественные часы, показывающие время образования данных минеральных ассоциаций по наличию продуктов распада — радиогенных изотопов. Но эти часы часто оказываются испорченными, так как геохимические процессы в биосфере Земли изменяют и искажают их [12].

Наиболее распространенный калий-аргоновый метод впервые был разработан в 1948–1950 гг. в СССР Э.К. Герлингом. Радиоактивный калий ^{40}K составляет лишь 0,0119 % в смеси с изотопами ^{39}K и ^{41}K (см. табл. 3). Широкое применение метода связано с тем, что калий входит в кристаллическую решетку более ста минералов, в том числе таких распространенных, как глауконит, биотит, санидин и другие полевые шпаты. Однако далеко не все минералы хорошо сохраняют радиогенный аргон: лучше всего он сохраняется в пироксенах и амфиболах, биотите и мусковите, значительно хуже — в полевых шпатах. В некоторых породах, например в древних ультраосновных, наблюдается избыточное содержание радиогенного аргона.

Рубидий-стронциевый метод основан на распаде ^{87}Rb и превращении его в радиогенный изотоп ^{87}Sr . Этот метод широко употребляется при определении геологического возраста криптозойских образований.

Таблица 5

Константы К-Аг метода, по разным авторам

Константа	Группы констант						
	1	2	3	4	5	6	7
$\lambda^{40}\text{Кe} + \lambda^{40}\text{К} \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$	0,557	0,584	0,585	0,585	0,5747	0,575	0,581
$\lambda^{40}\text{К}\beta \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,906	4,962
$^{40}\text{К} \cdot 10^{-2}$	1,19	1,19	1,19	1,18	1,18	1,18	1,167
Источник (см. список литературы)	2, 3, 4 27	3, 4	27, 49	44	4	24	20, 27

Самарий-неодимовый изотопный метод разработан Д. де Паоло (1976) и Г. Вассербургом (1981). Этот метод основан на распаде ^{147}Sm и превращении его в ^{147}Nd . Период полураспада превышает 100 млрд. лет, что приводит к очень медленному накоплению радиогенного изотопа неодима и требует исключительно чувствительных и точных аналитических определений. В то же время самарий-неодимовый метод имеет преимущество перед другими изотопными методами, поскольку самарий и неодим очень близки по геохимическим свойствам, поэтому геохимические процессы, как правило, не нарушают их радиоактивного равновесия. Самарий-неодимовый метод применяется для датировки возраста лунных пород и криптозойских образований нашей планеты.

При вычислении геологического возраста изотопными методами используются константы распада радиоактивных элементов. В табл. 5 показаны константы, которые применялись разными авторами при использовании калий-аргонового метода. В соответствии с решением, принятым на XXV сессии Международного геологического конгресса, в г. Сиднее (1976 г.) все публикуемые с 1978 г. данные должны быть рассчитаны по новым величинам констант распада [20], что было выполнено автором для всех используемых в монографии датировок с рабочей точностью 0,1 млн. лет.

В табл. 6 показаны согласованные на XXV сессии МГК константы распада других радиоактивных изотопов.

Изучено 77* оригинальных геохронологических шкал фанерозоя: 1 — Афанасьев Г.Д. и др., 1964 [2]; 2 — Афанасьев Г.Д., 1968; 3 — Афанасьев Г.Д., Зыков С.И., 1975 [4]; 4 — Афанасьев С.Л. и др., 1972; 5 — Афанасьев С.Л., 1975; 6 — Афанасьев С.Л., 1977; 7 — Афанасьев С.Л., 1978; 8 — Афанасьев С.Л., 1982; 9 — Афанасьев С.Л., 1984 [6]; 10 — Геологическая служба ГДР, 1975; 11 — Геохронологическая шкала. . . СССР, 1960; 12 — Геохронологическая таблица, 1984

*Номера (1—77) геохронологических шкал используются ниже.

Таблица 6

Постоянные распады радиоактивных изотопов, используемые для вычисления геологического возраста, по Г.В. Войткевичу

Изотоп	Тип распада	Константа распада, лет ⁻¹	Период распада, лет
²³⁸ U	α	$1,55125 \cdot 10^{-10}$	$4,51 \cdot 10^9$
²³⁵ U	α	$9,8435 \cdot 10^{-10}$	$7,07 \cdot 10^8$
²³² Th	α	$4,9475 \cdot 10^{-11}$	$1,41 \cdot 10^{10}$
⁴⁰ K	β	$4,962 \cdot 10^{-10}$	$1,25 \cdot 10^9$
	К	$0,581 \cdot 10^{-10}$	
⁸⁷ Rb	β	$1,42 \cdot 10^{-11}$	$4,88 \cdot 10^{10}$
¹⁴⁷ Sm	α	$6,537 \cdot 10^{-10}$	$1,06 \cdot 10^{11}$
¹⁸⁷ Re	β	$1,61 \cdot 10^{-11}$	$4,3 \pm 0,5 \cdot 10^{10}$

[14]; 13 — Геохронология СССР, 1974 [13]; 14 — Келлер Б.М. и др., 1977 [15]; 15 — Красилова И.Н., 1981 [18]; 16 — Найдин Д.П., 1982 [19]; 17 — Нейман В.Б., 1962; 18 — Немков Г.И., Ахметьев М.А., 1981 [18]; 19 — Певзнер М.А. и др., 1982 [17]; 20 — Пергамент М.А., 1967; 21 — Проект рекомендаций . . . , 1966; 22 — Рубинштейн М.М., 1962; 23 — Рубинштейн М.М., 1963 [21]; 24 — Рубинштейн М.М., Габуня Л.К., 1972; 25 — Старик И.Е., 1961; 26 — Сташков Г.М., 1978 [22]; 27 — Сташков Г.М., 1981 [23]; 28 — Armstrong R.L., 1976 [24]; 29 — Bandy O.L., 1967; 30 — Berggren W.A., 1969 [25]; 31 — Bukry D., 1974 [26]; 32 — Casey R., 1964; 33 — Cavalier C., Pomerol C., 1976; 34 — Creer K.M., 1971; 35 — Dickinson W.R., Rich E.J., 1972; 36 — Ernst G., Kreuzer H., 1976 [28]; 37 — Evernden J.F., Curtis G.H., 1961; 38 — Evernden J.F., Kistler R.W., 1970; 39 — Eysinga F.W.B. van, 1983 [29]; 40 — Funnel B.M., 1964; 41 — Gale N.H. c. a., 1979; 42 — GCP, 1977; 43 — Gill J.R., Cobban W.A., 1966 [30]; 44 — Hardenbol J., Berggren W.A., 1978 [31]; 45 — Harland W.B. c. a., 1964; 46 — Harland W.B. c. a., 1982 [32]; 47 — Hayes D.E., Pimm A.C., 1972; 48 — Hellsley C.E., Steiner M.B., 1969; 49 — Hinte J.E. van, 1972; 50 — Hinte J.E. van, 1976 [33]; 51 — Holmes A., 1959 [34]; 52 — Kauffman E.G., 1970 [35]; 53 — Kauffman E.G., 1977 [36]; 54 — Kulp J.L., 1960; 55 — Kulp J.L., 1961; 56 — Lambert R.L., 1971 [37]; 57 — Lancelot Y. e. a. 1978 [38]; 58 — Lanphere M.A., Jones D.L., 1978; 59 — Mc Kerrow W.S. e. a., 1980; 60 — Montadert L. e. a., 1979 [39]; 61 — Obradovich J.D., Cobban W.A., 1975 [40]; 62 — Odin G.S., 1973 [41]; 63 — Odin G.S., 1975; 64 — Odin G.S., 1978; 65 — Odin G.S. e. a., 1978, 66 — Odin G.S., 1982 [42]; 67 — Pechersky D.M., Khramov A.N., 1973; 68 — Pomerol C., 1976 [43]; 69 — Ramsey A. T. S. e. a., 1973; 70 — Rubinstein M., Gabunia L., 1976 [45]; 71 — Sigal J., 1967; 72 — Steinforth R.M. e. a., 1975 [46]; 73 — Supple J., 1969; 74 — The Phanerozoic time — scale, 1964 [47]; 75 — Vass D., 1978; 76 — Wager L.R., 1964 [48]; 77 — Winterer E.L., 1973 [50]. Из них шесть геохронологических шкал опубликовал С.П. Афанасьев и др. (4–9), пять — G.S. Odin e. a. (62–66), четыре — М.М. Рубинштейн и др. (22–24, 70), три — Г.Д. Афанасьев с соавторами (1–3), по две — Г.М. Сташков (26, 27), J.F. Evernden (37, 38), W.B. Harland e. a. (45, 46), J. E. van Hinte (49, 50), E.G. Kauffman (52, 53), W.A. Berggren e. a. (30, 44), J.L. Kulp (54, 55), W.A. Cobban e. a. (43, 61).

По числу опубликованных датировок выделяется четыре группы работ: 1) в первой, насчитывающей от 46 до 89 датировок, — семь работ, 2) во второй — от 12 до 19 оценок, 18 публикаций, 3) в третьей — от 5

до 11 датировок — основная группа, — 40 работ, 4) в четвертой — от 1 до 4 границ стратонов фанерозоя — 12 публикаций.

Перечисленные 77 геохронологических шкал фанерозоя включают 1056 датировок. Они противоречивы. Так, например, в 11-й шкале начало силурийского периода определено 409,4 млн. лет, а в 56-й шкале начало девонского 422,9 млн. лет, что противоречит первому принципу Стенсена и данным биостратиграфии. Что касается данных эпох, веков и фаз, указанных в табл. 3, то из 1056 датировок 520, т. е. 49 % перекрывают друг друга в смежных стратонах. Другими словами, по крайней мере 49 % датировок надо исключить из анализа как заведомо непригодных из-за нарушения первого принципа Стенсена: вышележащие слои всегда моложе нижележащих. Возникает проблема отбраковки непригодных датировок.

Рассмотрим возможные источники ошибок определения геологического возраста начала тех или иных стратонов фанерозоя.

1. Непостоянство скорости радиоактивного распада. По Г.В. Войткевичу, постоянный темп радиоактивного распада в термодинамических условиях Земли доказан экспериментальным путем, обоснован теоретически и давно перестал быть предметом дискуссий.

2. Точность измеренных постоянных констант радиоактивного распада. Точность совершенствуется (см. табл. 5 и 6). В 1976 г. на XXV сессии МГК в Сиднее достигнута договоренность о принятии всеми исследователями единых ("сиднейских") констант радиоактивного распада.

3. Точность аналитического определения содержания радиоактивных элементов и продукта их распада постепенно увеличивается по мере совершенствования применяемой аппаратуры и методов анализа.

4. Сохранность радиоактивных элементов и продуктов их распада за время существования минералов. Это наиболее часто встречающаяся причина ошибок определения геологического возраста. Так, например, по М.М. Рубинштейну, потери аргона могут достигать десятков процентов и нередко составляют 16—17 %. В 1962 г. Н.И. Полевая и др.⁴ исследовали 200 образцов глауконита, для 125 из них (62 %) получены удовлетворительные результаты, в 56 образцах (28 %) результат оказался древнее ожидаемого, в 21 образце (10 %) — моложе. Г.Д. Афанасьев с соавторами, Г. Баадсгард и М. Додсон, Р. Кейси, Р. Ламберт, Н.И. Полевая, М.М. Рубинштейн, И.Г. Гринман с соавторами и многие другие исследователи признают наличие ошибок при определении геологического возраста калий-аргоновым методом, чаще занижающих, но нередко и завышающих фактический возраст образцов.

5. Наличие первичных веществ, соответствующих продуктам распада при образовании минерала, например свинца, гелия, аргона. Особенно трудно выделить гелий нерадиогенного происхождения. При этом эффективно использование изотопного анализа. Так, например, свинец ²⁰⁴Pb явно нерадиогенного происхождения.

6. Наличие примеси минералов более древнего происхождения, содержащих радиоактивные элементы, например калия, что естественно, завышает геологический возраст минерала (см. п. 4).

7. Точность привязки к границам стратонов. Минералы, включающие радиоактивные элементы, чаще встречаются в интрузивных породах. Отнесение последних к границам стратонов наиболее затруднительно. Однако и минералы осадочных пород, имеющие радиоактивные элементы, далеко не всегда расположены на границах стратонов. Поэтому возникает проблема интерполяции геологического возраста между смежными опорными точками. М.М. Рубинштейн отмечает, что особая сложность заключается в отсутствии сколько-нибудь надежных принципиальных основ для проведения такой интерполяции, поскольку ни оперирование мощностями соответствующих осадков, ни тем более допущение одинаковой длительности хронологических интервалов одного порядка (например, веков) не может считаться удовлетворительным. Подробнее проблема интерполяции по литологическим признакам будет рассмотрена в заключительном разделе монографии.

8. Точность определения геологического возраста стратона биостратиграфическими методами. В качестве примера рассмотрим начало позднего кампана. По прежним оценкам автора и Н.И. Маслаковой, основание верхнего кампана в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа показано в подошве бединовской свиты. Дальнейшие исследования позволили установить, что на Юго-Восточном Кавказе бахшилинская и атачайская свиты имеют позднекампанский возраст. Они сопоставляются с ореховской и пенайской свитами Новороссийского разреза. Поэтому основание позднего кампана смещено к подошве бахшилинской свиты и соответствующей ей ореховской свиты Северо-Западного Кавказа.

9. Однозначность отнесения тех или иных биозон к тем или иным ярусам. В качестве примера можно привести зону *Belemnitella langei*, которая ранее относилась к маастрихту, теперь соответствует кампану.

10. Проблема корреляции регионарусов. Например, калабрия и апшерона.

Таким образом, источники ошибок определения геологического возраста рубежей стратонов имеют разную природу.

Точность определения геологического возраста нередко отмечается теми или иными авторами. Так, например, М.М. Рубинштейн оценивает среднюю величину аналитических ошибок калий-аргонового метода 2,8–3,5%. В сводке [47] для 35 опорных точек альба-эоцена приведены оценки точности их определения, колеблющиеся от 2 до 6 млн. лет. В среднем относительные ошибки составляют 5,1%. Естественно, если при оценке геологического возраста того или иного рубежа используются не одна, а ряд (n) опорных точек, то точность повышается в \sqrt{n} раз. В качестве примера приведем из сводки [47] пять определений

геологического возраста позднего кампана (Item 201) : с точностью ± 3 млн. лет — одна опорная точка и ± 4 млн. лет — четыре опорных точки, а также оценку точности определения геологического возраста в целом по этим пяти опорным точкам, равную $\pm 1,5$ млн. лет. Нетрудно заметить, что $\sqrt{(3^2 + 4 \cdot 4^2) / 5 \cdot 5} = 1,7 \approx 1,5$ млн. лет. Г.В. Войткевич приводит наиболее точные согласованные результаты возрастных измерений по свинцово-изотопному методу, полученные в разных лабораториях. Анализ этого материала показал, что среди "согласованных" значений на 90 %-ном уровне значимости выделяется две группы: 1) со среднеквадратичными относительными ошибками от 0,18 до 1,55 %, в среднем 1,3 % (урановая смолка, Лимож, Франция; циркон из пегматитов о. Шри-Ланка; урановая смолка, Шаба, Африка; уранинит, Южная Дакота, США; монацит из пегматитов, Бикита, Южная Африка); 2) со среднеквадратичными относительными ошибками от 2,7 до 3,5 %, в среднем 3,0 % (урановая смолка, Колорадо, США; браннерит из гранитов, СССР; монацит, Гудхоуз, Африка; монацит из гранитов, СССР). Что же касается "несогласованных" значений из той же работы, то среднеквадратичные относительные ошибки колеблются от 15,1 до 50,6 %, составляя в среднем 38,9 %.

Итак, в связи с перекрытием датировок смежных стратонов необходимо отбраковать примерно половину из 1056 оценок 77 опубликованных шкал из-за перечисленных ошибок, допущенных при определении датировок.

Рассмотрим основные принципы расчета начала веков и фаз фанерозоя.

Первый принцип (Стенсена) — начало более молодого века не может быть древнее начала более древнего стратона.

Второй принцип — длительность любого века не может в четыре или более раз превышать продолжительность смежного века. Этот принцип основан на анализе длительности самых молодых веков, от альба до сцилия (см. табл. 3), поскольку их продолжительность определена наиболее точно, со среднеквадратичной относительной ошибкой 8,5 %. Соотношение длительности смежных веков в этой группе колеблется от 1,05 (сеноманский и туронский века) до 3,3 (сантонский и кампанский века), составляя в среднем 1,99. На 99,7 %-ном уровне значимости соотношение продолжительности смежных веков не превысит 3,98, т. е. четырехкратной величины.

Третий принцип — возможны грубые ошибки датировки геологического возраста того или иного стратона. Доля таких ошибок измеряется десятками процентов.

Четвертый принцип — частотная кривая датировок, освобожденных от грубых ошибок, не противоречит нормальному распределению.

Пятый принцип — при наличии двух или более конкурирующих групп датировок выбирается та из них, которая характеризуется макси-

мальным числом наиболее ценных новейших датировок разных авторов.

Шестой принцип — среднеквадратичные относительные отклонения в оптимальной группе датировок должны примерно соответствовать $\sigma_0 = 1,15\%$.

Руководствуясь перечисленными принципами, проведем отбраковку "плохих" и "очень плохих" датировок. Для этой цели сначала проверим статистику оценок начала каждого века (фаза). Простейший способ обнаружения резко выделяющихся наблюдений показан Л.Н. Большевым и Н.В. Смирновым [9] по процентным точкам отношений

$$\begin{aligned}r_n^1 &= (\eta_n - \eta_{n-1}) / (\eta_n - \eta_1); & r_n^3 &= (\eta_n - \eta_{n-1}) / (\eta_n - \eta_2); \\r_n^2 &= (\eta_n - \eta_{n-2}) / (\eta_n - \eta_1),\end{aligned}\quad (1, 2, 3)$$

где r_n^m — процентные точки отношений, показанные для $n = 3-30$ [9]; η_1 и η_n — крайние датировки рассматриваемой совокупности; η_{n-1} и η_{n-2} — соответственно вторая и третья оценки либо со стороны наименьших, либо со стороны наибольших датировок; Q — уровень значимости, обычно принимается $< 5\%$.

Если одна или две сразу резко выделяющиеся оценки на 5 %-ном уровне значимости противоречат данным Л.Н. Большева и Н.В. Смирнова [9], они выделяются в отдельную группу.

Другой способ определения соответствия или несоответствия нормальному распределению использует критерий Пирсона χ^2 . Поясним это на конкретном примере. Начало тремадокского века показано в 23 опубликованных работах: 467,8 млн. лет — в одной публикации, 480,0 — в двух работах, 482,0 — в одной, 485,3 — в одной, 487,2 — в шести, 495,0 — в одной, 496,9 — в одной, 500,0 — в одной, 504,0 — в одной, 505,0 — в одной, 508,1 — в одной, 508,6 — в одной, 508,9 — в трех, 519,0 — в одной, 524,0 млн. лет — в одной. Среднее арифметическое из перечисленных 23 датировок составляет $\bar{T} = 495,9$ млн. лет, а среднеквадратичное отклонение от этого среднего $\sigma = 14,24$ млн. лет. В связи с тем что здесь наблюдается повышенное сгущивание оценок в интервалах 480,0 — 487,2 и 504,0—508,9 млн. лет, определим для этих и смежных с ними интервалов квантили нормального распределения (t), значения функции нормального распределения (Φ) — по данным табл. 1.1 Л.Н. Большева и Н.В. Смирнова [9], приращения этой функции ($\Delta\Phi$) в выделенных группах; ожидаемое число датировок (a) в соответствии с $\Delta\Phi$ для интервалов: менее 479,95; 479,95—487,25; 487,25—503,95; 503,95—508,95 и свыше 508,95 — млн. лет — соответственно равно: 3,0; 3,2; 10,2; 2,4 и 4,2 оценок, а разность между фактическим числом датировок в этих интервалах (соответственно: одна, десять, три, семь и две оценки) и ожидаемым их количеством (a) равна: 1) $-2,0$, 2) $6,8$, 3) $-7,2$, 4) $-4,6$ и 5) $-2,2$. При определении критерия Пирсона χ^2 (χ^2/a)

необходимо, чтобы величина a не снижалась до значения меньше трех единиц. Поэтому в рассматриваемом примере следует объединить 4 и 5 в один класс 4 + 5. Вычислим χ^2 : 1) 1,3; 2) 14,4; 3) 5,0; 4) и 5) 0,9. Второе и третье значения χ^2 свидетельствуют о том, что на уровне значимости соответственно меньше 0,05 и 2,5 % [11] в интервале 479,95–487,25 млн. лет наблюдается резкий избыток датировок (десять вместо ожидаемых трех), а в интервале 487,25–503,95 млн. лет, наоборот, резкий их дефицит (три оценки против ожидаемых десяти), что свидетельствует о наличии двух групп датировок: 1) 476,8–487,2 млн. лет – 11 оценок и 2) 495,0–524,0 – 12 датировок. Указанный расчет показан в табл. 7.

После выделения двух (трех) групп датировок в каждой из них снова проверяется соответствие (несоответствие) полученной статистики нормальному распределению, и так до тех пор, пока полученные статистики не будут противоречить ему. Таким образом реализуется четвертый принцип.

Статистики, которые соответствуют нормальному распределению, могут противоречить шестому принципу, если среднеквадратичные отклонения от среднего значения рассматриваемой группы датировок будут значительно ($Q < 5\%$) отличаться от $\sigma_0 = 1,15\%$. Эта оценка вычислена по 615 "хорошим" датировкам фанерозоя, что будет подробно рассмотрено ниже. Поскольку все статистики, соответствующие нормальному распределению, в настоящей работе относятся к категории малых выборок, расчет среднеквадратичных отклонений можно заметить определением размаха (R), или разности крайних датировок. Моменты размаха выборки из нормальной совокупности с параметрами $(0, 1)$ приведены в табл. 3.8 в работе [9]. С учетом данных этой таблицы и стандартного значения среднего для всего фанерозоя сред-

Таблица 7

Пример расчета несоответствия статистики датировок начала тремадокского века нормальному распределению

Интервал датировок, млн. лет	t	Φ	$\Delta\Phi$	n	a	ϵ	χ^2	$Q, \%$
< 479,95				1	3,0	-2,0	1,3	-
479,95–487,25	-1,120	0,869	0,131	10	3,2	6,8	14,4	0,05
	-0,607	0,728						
487,25–503,95			0,442	3	10,2	-7,2	5,1	2,5
	0,565	0,286						
503,95–508,95			0,106	7	2,4	4,6	0,9	-
	0,916	0,180						
> 508,95			0,180	2	4,2	-2,2		

Таблица 8

Средняя величина относительного размаха

n	R	n	R	n	R	n	R
2	0,01293	9	0,03405	16	0,04049	23	0,04422
3	0,01940	10	0,03528	17	0,04113	24	0,04464
4	0,02360	11	0,03637	18	0,04172	25	0,04503
5	0,02667	12	0,03736	19	0,04228	26	0,04540
6	0,02905	13	0,03824	20	0,04281	27	0,04576
7	0,03100	14	0,03905	21	0,04331	28	0,04610
8	0,03264	15	0,03980	22	0,04378	29	0,04642

неквадратичного относительного отклонения $\sigma_0 = 1,15 \%$, или 0,0115, можно составить табл. 8.

Отбраковка "плохих" датировок здесь проводилась по принципу лучшего соответствия среднеквадратичным отклонениям, вычисленным по табл. 8. Поясним это на конкретном примере. Датировки начала титонского века: 135,0; 139,8; 143,2; 146,0; 148,2; 148,9; 149,2; 149,3 и 150,0 млн. лет. Здесь разность крайних оценок $R_9 = 150,0 - 135,0 = 15,0$ млн. лет. Она значительно больше ожидаемой разности, вычисленной по среднему из шести "лучших" датировок (146,0–150,0 млн. лет) – 148,6 млн. лет и величине $R = 0,03406$ из табл. 8: $\bar{R}_9 = 148,6 \times 0,03405 = 5,1$ млн. лет. Отношение R_9/\bar{R}_9 выражается коэффициентом $K_9 = 15,0/5,1 = 2,96$. Следовательно, фактический размах (R_9) оказался больше ожидаемого (\bar{R}_9) в 2,96 раза, что на уровне значимости $Q < 5 \%$ свидетельствует о их резком несоответствии. Исключим сначала наиболее резко выделяющуюся датировку 135,0 млн. лет (139,8–135,0 = 4,8, 150,0–149,3 = 0,7 млн. лет, при этом 4,8 > 0,7 млн. лет). Получим новое значение разности крайних датировок, или размах $R_8 = 150,0 - 139,8 = 10,2$ млн. лет. Как и в предыдущем случае, рассчитаем ожидаемый размах $\bar{R}_8 = 148,6 \cdot 0,03264 = 4,9$ млн. лет. Соотношение фактического размаха (R_8) и ожидаемого (\bar{R}_8) определяется коэффициентом $K_8 = 10,2/4,9 = 2,10$. Отмечаем, что $K_8 < K_9$, но все еще фактический размах больше ожидаемого. Исключим еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку – 139,8 млн. лет (143,2–139,8 = 3,4, 150,0 – 149,3 = 0,7 млн. лет, при этом 3,4 > 0,7 млн. лет). В оставшейся совокупности из семи датировок разность крайних оценок, или размах в млн. лет $R_7 = 150,0 - 143,2 = 6,8$ также больше ожидаемой $\bar{R}_7 = 148,6 \cdot 0,03100 = 4,6$, но уже только в 1,48 раза, так как $K_7 = 6,8/4,6 = 1,48$. Поскольку R_7 все еще больше ожидаемой \bar{R}_7 , исключаем еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку – 143,1 x (146,0 – 143,1 = 2,9, 150,0 – 149,3 = 0,7 млн. лет, при этом 2,9 > 0,7 млн. лет). После этого находим, что разность крайних оценок $R_6 = 150,0 - 146,0 = 4,0$ млн. лет получается уже меньше ожидаемой

$\bar{R}_6 = 148,6 \cdot 0,02905 = 4,3$ млн. лет в 1,08 раза, поскольку $K_6 = 4,0/4,3 = 0,93 = 1/1,08$. Получив фактический размах меньше ожидаемого, прекращаем отбрасывание наиболее резко выделяющихся датировок и выбираем такое значение коэффициента K , которое меньше всего отличается от единицы. Другими словами, выбираем такую совокупность датировок, когда разность крайних значений меньше всего отличалась бы от ожидаемой, т. е. фактическое средне-квадратичное относительное отклонение оценок от их среднего значения ближе всего соответствовало бы стандартному, среднему значению этой величины среди всех "хороших" датировок фанерозоя: $\sigma_0 = 0,015 = 1,15\%$. В рассмотренном примере — это $K_6 = 1/1,08$. Поэтому шесть оценок начала титонского века (146,0 —

150,0 млн. лет) являются той оптимальной группой, по которой и производится расчет среднего начала этого века: $148,6 \pm 0,6t$ млн. лет. При этом величина 0,6 млн. лет соответствует среднеквадратичному наиболее вероятному смещению фактической датировки от вычисленной, т. е. наиболее вероятной ($Q = 68\%$) ошибке определения последней. Величина 0,6 млн. лет вычисляется по известным формулам [9]. Так соблюдается шестой принцип.

Рассмотрим приложение пятого принципа к анализу фактического материала. Этот принцип включает четыре элемента: 1) наиболее ценные датировки, 2) новейшие оценки, 3) датировки разных авторов, 4) наибольшее число оценок. Поясним значение и определение каждого из перечисленных элементов пятого принципа.



Рис. 5. Частотная кривая относительных отклонений (σ %) 1056 опубликованных датировок геологического возраста от их среднего значения: "хорошие" оценки (тонкая сплошная линия) и их наиболее вероятное распределение (жирная сплошная линия); "плохие" датировки (пунктирная линия)

(1984, $\bar{\sigma} = 4,11\%$), Ф. ван. Эйзинга ($\bar{\sigma} = 4,47\%$).

Наиболее ценные датировки определяются величиной $\bar{\sigma}$ (рис. 5), вычисленной как среднеквадратичное относительное отклонение оценок определенной шкалы (из 77 шкал фанерозоя) от шкалы, предложенной в настоящей монографии (см. табл. 3). Перечень значений $\bar{\sigma}$ для "отличных" и "хороших" геохронологических шкал приводится в заключительной части монографии. Чаще всего выбор наиболее ценных датировок касается следующих новейших шкал 80-х годов: С.Л. Афанасьев (1984, $\bar{\sigma} = 1,43\%$), У. Харланд и др. (1982, $\bar{\sigma} = 2,57\%$), Р. Армстронг (1976, $\bar{\sigma} = 2,93\%$), Геохронологическая таблица (1984, $\bar{\sigma} = 4,11\%$), Ф. ван. Эйзинга (1983, $\bar{\sigma} = 4,30\%$), Ж. Одэн (1982,

Новейшие оценки определяются по годам публикаций. В целом для всех 77 датировок новейшими могут считаться те из них, которые опубликованы в 1975–1984 гг. (38 шкал), а к устаревшим – опубликованные в 1959–1974 гг. (39 шкал). Практически в каждом конкретном случае рассматриваются модальные значения дат публикаций в конкурирующих группах. Та из групп, в которой модальное значение выше, относится к предпочитаемой и характеризуется половиной новейших датировок. Другая группа, где модальное значение дат публикаций меньше, относится к устаревшей и отбраковывается. Характеризуется она (для контраста) половиной устаревших оценок. Рассмотрим это на примере 23 датировок начала лландоверийского века раннего силура. Здесь выделены две группы: 1) 409,4–428,9 млн. лет – восемь оценок, 2) 432,9–453,3 млн. лет – 15 датировок. Оценки первой группы опубликованы в 1960, 1964, 1966, 1968, 1974, 1975, 1979 и 1982 гг. Датировки второй группы опубликованы в 1959, 1961, 1964 (две оценки), 1971, 1975, 1978 (две датировки), 1980, 1981 (две оценки), 1982, 1983 (две датировки) и 1984 гг. Модальное значение в первой группе приходится на интервал 1968–1974 гг., в среднем на 1971 г. Модальное значение даты публикаций во второй группе совпадает со значением 1978 г. Поэтому относим к предпочтительной вторую группу и характеризуем ее новейшими датировками (1978–1984 гг.). Первая группа отнесена к устаревшей и отбракована. Она охарактеризована половиной датировок (1960–1968 гг.), которые относятся к категории устаревших.

Датировки разных авторов – этот элемент пятого принципа практически использован только при сравнении оценок Ж. Одэна с конкурирующими датировками других авторов. Так, например, начало бартонского века эоцена опубликовано в 19 работах, среди которых выделены две группы датировок: 1) 38,7–41,0 млн. лет – четыре оценки, 2) 43,0–46,2 млн. лет – 15 датировок. Первая группа содержит оценки одного и того же автора, Ж. Одэна, и не выдерживает конкуренции со второй группой, включающей датировки многих авторов. Поэтому все четыре оценки первой группы отбраковываются.

Естественно, что при прочих равных условиях предпочтительнее группа с наибольшим числом датировок как более представительная. В качестве примера рассмотрим начало калабрия – квартера. Здесь опубликованы 12 датировок. После отбраковки трех устаревших (1959–1966 гг.) оценок первой группы (1,03–1,47 млн. лет) во второй группе обнаружены две подгруппы: 2.1) 1,71–1,8 млн. лет – шесть датировок, 2.2) 2,0–2,05 млн. лет – три оценки. Датировки первой подгруппы опубликованы в 1964, 1974, 1975, 1983 (две оценки) и 1984 гг. Датировки второй подгруппы – в 1977, 1978 и 1982 гг. Модальная датировка первой подгруппы приходится на интервал 1975–1983 гг. и в среднем относится к 1979 г. Модальная датировка времени публикации во второй подгруппе совпадает с 1978 г. С минимальным перевесом предпочтительнее первая подгруппа. Самые новейшие оценки восьмидесятых

годов втрое чаще встречаются в первой подгруппе. Так что и по этому признаку предпочтительнее первая подгруппа. Однако во второй подгруппе находится датировка из отличной шкалы (46) со среднеквадратичной ошибкой всего $\sigma_1 = 2,6 \%$, в то время как в первой оценке восьмидесятых годов из шкал (9, 12, 39) со среднеквадратичными ошибками: 1,4, 4,3, 4,6 %, в среднем $\sigma_2 = 2,2 \%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, предпочтительнее первая подгруппа, но опять с незначительным перевесом. Возникшее сомнение снимается после использования четвертого элемента пятого принципа — числа публикаций. В самом деле, если точность датировок второй подгруппы по новейшей оценке 1982 г. определяется среднеквадратичной ошибкой $\sigma_1 = 2,6 \%$, то точность оценок в первой подгруппе по датировкам восьмидесятых годов оценивается их средней величиной σ_1/σ_2 , деленной на $\sqrt{3}$, где 3 — число оценок восьмидесятых годов, т. е. в конечном счете ожидаемой среднеквадратичной ошибкой $\sigma_3 = 1/\sqrt{(1/4,6^2 + 1/1,4^2 + 1/4,3^2)/9} = 1,3 \%$. Поскольку $1,3 < 2,6$, можно утверждать, что предпочтительнее первая подгруппа датировок.

Так соблюдается пятый принцип. Нетрудно заметить связь между тремя элементами пятого принципа. Основной из них — первый; к нему относятся наиболее ценные датировки. Во втором — новейшие оценки — приближенная замена первого, поскольку, как будет показано ниже, наблюдается постепенное уменьшение среднеквадратичных ошибок по мере обновления геохронологических шкал. И, наконец, если первые два элемента отражают качество датировок, то четвертый характеризует их количественную сторону. Поэтому, объединяя все три перечисленные элемента, можно предложить для них единую оценку (σ^*), которая уже использована выше при определении начала калабрия:

$$\sigma^* = 1/\sqrt{(\sum 1/\sigma_i^2)/n}, \quad (4)$$

где σ_i — частное значение среднеквадратичной относительной ошибки шкалы i , n — число шкал.

Соблюдение всех шести принципов позволяет объективно выделить оптимальную группу датировок и по ней рассчитать начало того или иного стратона.

Точность (μ) определения начала стратона вычислялась обычным способом: $\mu = \sigma/\sqrt{n}$, при $n \geq 3$. При $n = 0$ и $n = 1$ относительная точность μ' принималась равной $\mu' = 1,15 \%$, а при $n = 2$ $\mu' = 1,15 \%/ \sqrt{2}$. Так рассчитаны вероятные ошибки определения геологического возраста начала веков: ленского, даунтонского, гжельского, сакмарского, лангййского, сервалаия и др.

Точность определения продолжительности всех стратонов мела и кайнозоя, большей части стратонов девона — юры и меньшей части веков кембрия — силура вычислялась с учетом дисперсий ($D = \sigma^2$) ошибок

нахождения их границ. При этом сумма дисперсий ошибок определения границ стратонов принималась равной дисперсии ошибок вычисленной длительности их при условии, что вероятная ошибка (на уровне значимости $Q = 68\%$) не превышает половины, а точнее $45,6\%$ продолжительности стратона. При значительных расхождениях в определении рубежей стратонов формально полученные "ошибки" их продолжительности могут превышать длительность самих стратонов, чего быть не должно.

Относительная ошибка определения продолжительности стратонов ($z\%$) может быть составлена из двух категорий ошибок: а) определения длительности геологического периода ($x\%$), б) несоответствия априорной одинаковой продолжительности веков — их фактической длительности ($y\%$).

Ошибки определения продолжительности геологических периодов x (см. табл. 3): юрского $3,4\%$, триасового $6,7\%$, пермского $2,2\%$, каменноугольного $2,3\%$, девонского $3,3\%$, силурийского $6,3\%$, ордовикского $3,2\%$, кембрийского $4,0\%$, в среднем $\bar{x} = 4,2\%$.

Для определения второй категории ошибок (y) рассмотрим четыре группы веков: позднемеловые, палеогеновые, миоценовые, плиоценовые совместно с четвертичными, поскольку длительность этих веков определена значительно точнее, чем продолжительность кембрийских — раннемеловых веков. Среднеарифметическая длительность позднемеловых веков равна $4,8$ млн. лет, а относительная среднеквадратичная ошибка отклонений от фактической продолжительности веков $y_1 = 63\%$. Среднеарифметическая длительность палеогеновых веков $4,7$ млн. лет, а $y_2 = 37\%$; для миоцена $3,2$ млн. лет, $y_3 = 41\%$; для плиоцена и квартера — $1,3$ млн. лет, $y_4 = 36\%$. В среднем $y = 45,6\%$.

С учетом \bar{x} и \bar{y} находим общую среднюю ошибку $z = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} = 45,8\%$. По ней рассчитываются вероятные ошибки оценок продолжительности большинства веков кембрия, силура, девона, части веков ордовика, карбона, перми, триаса и юры (см. табл. 3).

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ФАНОРОЗОЯ — АНАЛИЗ ИЗОТОПНЫХ ДАТИРОВОК НАЧАЛА ВЕКОВ И ФАЗ

Конкретное рассмотрение датировок начала веков и фаз удобнее вести в хронологической последовательности, начиная с кембрия (рис. 6). Для начала каждого века или фазы перечислены все опубликованные датировки с указанием автора (цифры в скобках), проведен их статистический анализ, определен оптимальный геологический возраст.

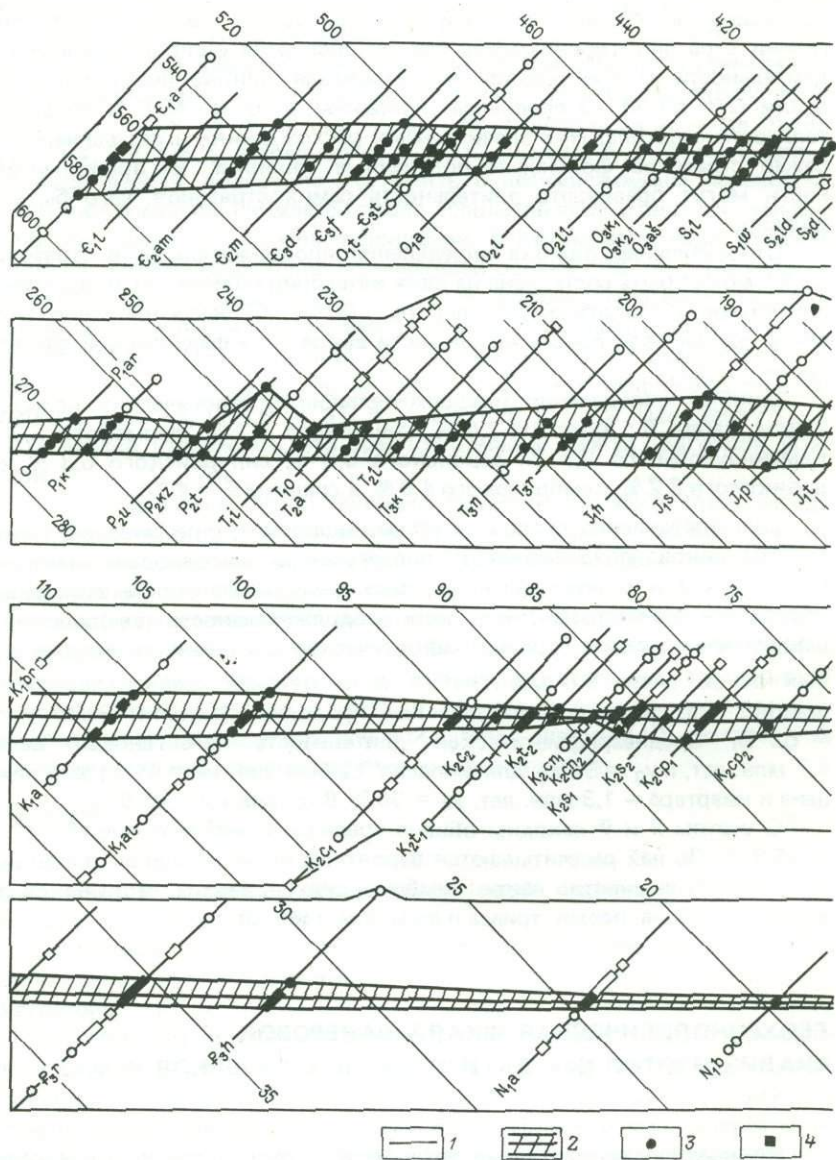
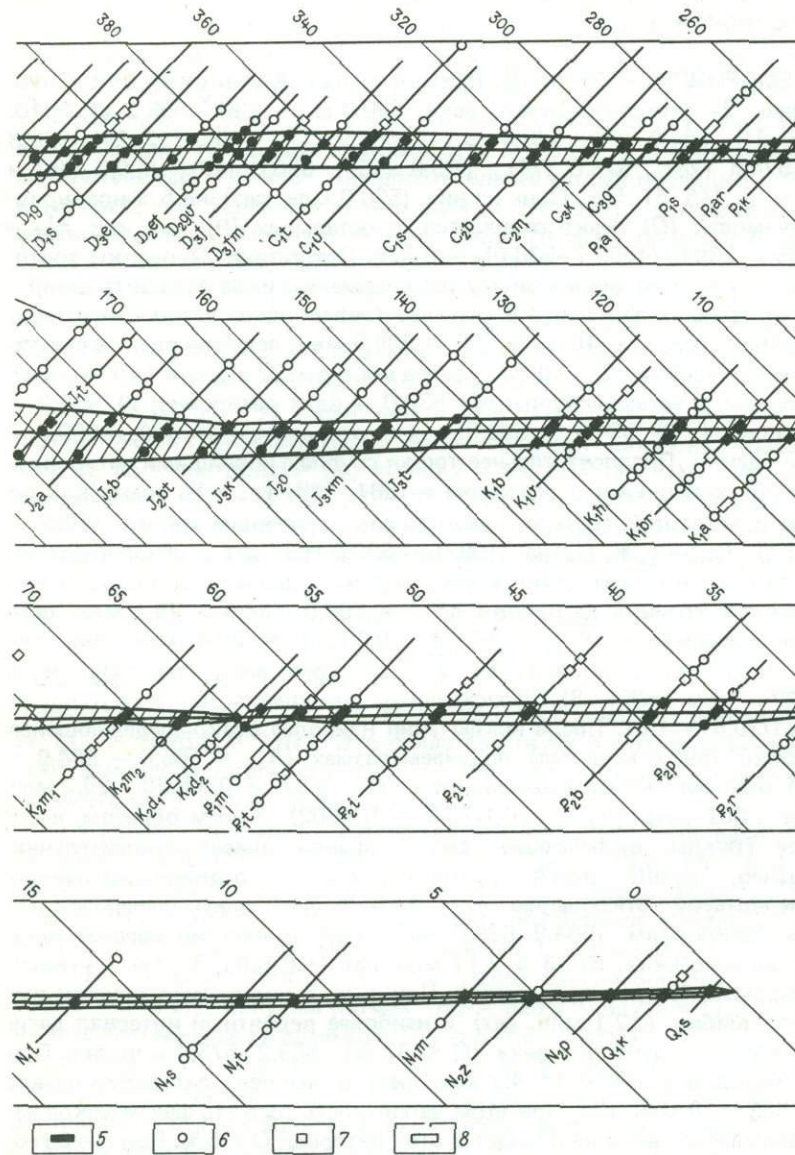


Рис. 6. Средний геологический возраст (1) начала веков и фаз фанерозоя по луч-3 — одна, 4 — две, 5 — три или более "хороших" оценки; 6 — одна, 7 — две, 8 — три Цифрами обозначен возраст в миллионах лет



шим (2) из опубликованных изотопных датировок: или более "плохих" датировок.

КЕМБРИЙСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Алданский век. Опубликованы 22 датировки начала века: 530,0 м. л. (66)*, 555,2 (1, 2, 10, 11, 13, 21), 564,9 (26), 566,4 (3,14), 566,9 (27), 570,0 (12, 39), 570,3 (9), 574,5 (28), 578,6 (74), 585,0 (15), 590,0 (46), 599,6 (56) и 609,7 м. л. (45, 51, 55). Одна из них (530,0 млн. лет) на 5 %-ном уровне значимости (Q) резко отличается от остальных [9], так как $r_{22}^1 = (555,2 - 530,0) / (609,7 - 530,0) = 0,316$. Статистика 21 оценки противоречит ($Q < 5\%$) нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервалах 555,3–564,8 млн. лет (нет ни одной датировки вместо ожидаемых трех, $Q < 10\%$) и 590,1–599,5 млн. лет (три оценки вместо ожидаемых восьми, $Q < 10\%$). Таким образом, 22 оценки (в млн. лет) объединены в четыре группы: 1) 530,0 – одна датировка, 2) 555,2 – шесть оценок, 3) 564,9 – 590,0 – 11 датировок и 4) 599,6–609,7 – четыре оценки. Предпочтительнее третья группа с новейшими датировками, опубликованными в основном в 1981–1984 гг., в то время как во второй и четвертой группах преобладают устаревшие данные (1959 – 1964 гг.). Оценку Ж. Одэна (1982) – 530,0 млн. лет – игнорируют из-за ее резкого несоответствия всем остальным данным. В третьей группе разность крайних датировок ($R_{11} = 590,0 - 564,9 = 25,1$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_{11} = 571,3 \cdot 0,03637 = 20,8$ млн. лет, где 571,3 млн. лет, – оценка начала алданского века (см. табл. 3), а 0,03637 – см. табл. 8). Коэффициент отношения $K_{11} = R_{11} / \bar{R}_{11} = 25,1 / 20,8 = 1,21$. После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (590,0 млн. лет) получаем размах ($R_{10} = 585,0 - 564,9 = 20,1$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_{10} = 571,3 \cdot 0,03528 = 20,2$ млн. лет) в 1,002 раза ($K_{10} = 20,1 / 20,2 = 1/1,002$). Таким образом, часть третьей группы, включающая десять оценок, имеет относительную дисперсию, лучше всего соответствующую среднеквадратичному относительному отклонению $\sigma = 1,15\%$ для всего фанерозоя. По десяти датировкам (564,9–585,0 млн. лет) вычислено среднее начало алданского века: $571,3 \pm 2,1 t$ млн. лет (см. табл. 3), где t – квантиль нормального распределения. При $t = 1$ получаем среднеквадратичную ошибку ($\pm 2,1$ млн. лет) и наиболее вероятный интервал датировки начала алданского века ($Q < 32\%$): 569,2–573,4 млн. лет. При $t = 2$ находим ошибку ($\pm 4,2$ млн. лет) и интервал датировки начала века: 563–576 млн. лет. При этом вероятность того что фактическое начало алданского века не попадет в этот интервал $Q < 5\%$. При $t = 3$ геологический возраст начала века $T = 571,3 \pm 6,3 = 565$ –578 млн. лет. Надежность этой датировки $Q > 99,7\%$.

* Здесь и далее цифры в круглых скобках соответствуют номеру геохронологической шкалы фанерозоя, указанному в начале работы.

Ленский век. Опубликовано две датировки: 540,0 (39) и 558,6 млн. лет (9). Разность этих оценок ($R_2 = 558,6 - 540,0 = 18,6$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_2 = 558,6 \cdot 0,01293 = 7,2$) в 2,58 раза ($K_2 = 18,6/7,2 = 2,58$). Таким образом, оценки ленского века несовместимы на уровне значимости $Q > 95\%$; они образуют две самостоятельные "группы". Предпочтительнее вторая новейшая (1984 г.) датировка, тем более что первая оценка совпадает с датировкой начала алданского века. Поэтому начало ленского века принимаем равным $558,6 \pm 6,4$ т млн. лет, где $6,4 = 558,6 \cdot 0,0115$.

Средний кембрий. Амгинский век. Опубликовано восемь датировок: 530,0 (15), 535,0 (39), 540,0 (46), 541,7 (3), 544,7 (28), 546,0 (9), 548,4 (74) и 549,2 млн. лет (55). Здесь разность крайних оценок ($R_8 = 549,2 - 530,0 = 19,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_8 = 541,9 \cdot 0,03264 = 17,7$ млн. лет) в 1,08 раза ($K_8 = 19,2/17,7 = 1,08$). Если исключить наиболее резко выделяющуюся датировку (530,0 млн. лет), то получим размах ($R_7 = 549,2 - 535,0 = 14,2$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 541,9 \cdot 0,03100 = 16,8$ млн. лет) в 1,18 раза ($K_7 = 14,2/16,8 = 1/1,18$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_8 = 1/1,18$, поэтому находим, что все восемь датировок образуют единую совокупность (группу). По ним вычислено среднее начало амгинского века: $541,9 \pm 2,4$ т млн. лет.

Майский век. Опубликовано две датировки: 525,0 (39) и 532,3 млн. лет (9). Их разность ($R_2 = 532,3 - 525,0 = 7,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_2 = 528,6 \cdot 0,01293 = 6,8$ млн. лет) всего в 1,07 раза ($K_2 = 7,3/6,8 = 1,07$). Это свидетельствует о том, что оценки образуют единую совокупность (группу). По ним вычислено среднее начало майского века: $528,6 \pm 4,6$ т млн. лет.

Поздний кембрий. Дресбачский век. Опубликовано восемь датировок: 505,0 (15), 512,1 (3), 515,0 (39), 519,0 (55), 519,5 (9), 523,0 (46), 523,2 (74) и 523,7 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_8 = 523,7 - 505,0 = 18,7$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_8 = 517,6 \cdot 0,03264 = 16,9$ млн. лет) всего в 1,11 раза ($K_8 = 18,7/16,8 = 1,11$). Если исключить наиболее резко выделяющуюся датировку (505,0 млн. лет), получим размах ($R_7 = 523,7 - 512,1 = 11,6$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 517,6 \cdot 0,03100 = 16,0$ млн. лет) — в 1,38 раза ($K_7 = 11,6/16,9 = 1/1,38$). Из двух коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_8 = 1,11$. Поэтому принимаем, что все восемь датировок образуют единую совокупность, дисперсия которой примерно соответствует средней дисперсии "хороших" оценок ($\sigma_0 = 1,15\%$). По восьми датировкам рассчитано среднее начало дресбачского века: $517,6 \pm 2,4$ т млн. лет.

Франконский век. Опубликовано две датировки (млн. лет): 510,0 (39) и 514,3 (9). Их разность ($R_2 = 514,3 - 510,0 = 4,3$) меньше ожидаемой ($\bar{R}_2 = 512,2 \cdot 0,01293 = 6,6$). Это свидетельствует о том,

что оценки образуют одну группу. По ним рассчитано среднее начало франконского века: $512,2 \pm 2,7 t$ млн. лет.

Тремплёионский век. Опубликованы две датировки (млн. лет) : 505,0 (39) и 509,2 (9). Их разность ($R_2 = 509,2 - 505,0 = 4,2$) меньше ожидаемой ($\bar{R}_2 = 507,1 \cdot 0,01293 = 6,6$). Это свидетельствует о том, что оценки слагают одну группу. По ним рассчитано среднее начало тремплёионского века: $507,1 \pm 2,6 t$ млн. лет.

ОРДОВИКСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Тремадокский век. Опубликованы 23 датировки: 467,8 (11), 480,0 (12, 15), 482,0 (41), 485,3 (26), 487,2 (1, 2, 3, 10, 21, 27), 495,0 (66), 496,9 (13), 500,0 (39), 504,0 (9), 505,0 (46), 508,1 (74), 508,6 (28), 508,9 (45, 51, 55), 519,0 (59) и 524,0 млн. лет (56). Статистика этих оценок противоречит нормальному распределению из-за резкого дефицита датировок в интервале 487,3 – 503,9 млн. лет (три оценки против ожидаемых десяти, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп датировок (млн. лет) : 1) 467,8–487,2 – 11 оценок, 2) 495,0–524,0 – 12 датировок. В первой группе одна из оценок (467,8 млн. лет) резко отличается от остальных десяти, так как $r_{11}^1 = (480,0 - 467,8) / (487,2 - 467,8) = 0,629$ ($Q < 0,5\%$), что свидетельствует о наличии в первой группе двух подгрупп: 1.1) 467,8 млн. лет – одна датировка и 1.2) 480,0–487,2 млн. лет – десять оценок. В свою очередь, во второй группе резко выделяются две датировки (519,0 и 524,0 млн. лет), так как $r_{12}^2 = (524,0 - 508,9) / (524,0 - 495,0) = 0,521$ ($Q < 5\%$). В итоге получены четыре подгруппы. Предпочтительнее первая подгруппа второй группы: 2.1) 495,0–508,9 млн. лет – десять оценок, в которых преобладают новейшие (1978–1984 гг.) датировки, в то время как в остальных подгруппах – в основном устаревшие данные (1964–1975 гг.). В первой подгруппе второй группы разность крайних оценок ($R_{10} = 508,9 - 495,0 = 13,9$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{10} = 504,4 \cdot 0,03528 = 17,8$ млн. лет), поэтому они образуют единую совокупность с такой же дисперсией, как в среднем среди “хороших” датировок фанерозоя. По девяти оценкам (495,0–508,9 млн. лет) рассчитано среднее начало тремадокского века: $504,4 \pm 1,7 t$ млн. лет.

Ареннигский век. Опубликовано пять датировок: 475,0 (66), 488,0 (46), 490,0 (39), 494,3 (9) и 500,0 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 500,0 - 475,0 = 25,0$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 493,1 \cdot 0,02667 = 13,2$ млн. лет) в 1,89 раза ($K_5 = 25,0 / 13,2 = 1,89$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (475,0 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 500,0 - 488,0 = 12,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 495,1 \cdot 0,02360 = 11,6$ млн. лет) всего в 1,03 раза ($K_4 = 12,0 / 11,6 = 1,03$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (500,0 млн. лет), получим размах ($R_3 = 494,3 - 488,0 = 6,3$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 493,1 \cdot 0,01940 = 9,6$ млн. лет) – в 1,52 раза ($K_3 = 6,3 / 9,6 = 1 / 1,52$). Из трех величин

коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,03$, поэтому оптимальная совокупность из последних четырех датировок, по которым вычислено среднее начало аренигского века: $493,1 \pm 2,8 t$ млн. лет.

Средняя эпоха. Планвирнский век. Опубликовано шесть датировок: 470,0 (66), 472,0 (39), 472,3 (3), 478,0 (46), 479,3 (9) и 490,2 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_6 = 490,2 - 470,0 = 20,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 474,3 \cdot 0,02905 = 13,8$ млн. лет) в 1,46 раза ($K_6 = 20,2/13,8 = 1,46$). Исключив наиболее резко выделяющуюся устаревшую (1978 г.) датировку (490,2 млн. лет), находим, что размах ($R_5 = 479,3 - 470,0 = 9,3$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 474,3 \cdot 0,02667 = 12,6$ млн. лет) в 1,35 раза ($K_5 = 9,3/12,6 = 1/1,35$). Из двух значений коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_5 = 1/1,35$, поэтому оптимальной является совокупность из первых пяти оценок, по которым рассчитано среднее начало лланвиринского века: $474,3 \pm 1,9 t$ млн. лет.

Лландейльский век. Опубликовано пять датировок: 455,0 (66), 461,0 (39), 466,9 (9), 468,0 (46) и 476,4 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 476,4 - 455,0 = 21,4$ млн. лет) больше ожидаемой ($R_5 = 462,7 \cdot 0,02667 = 12,3$ млн. лет) в 1,74 раза ($K_5 = 21,4/12,3 = 1,74$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (476,4 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 468,0 - 455,0 = 13,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 462,7 \cdot 0,02360 = 10,9$ млн. лет) всего в 1,19 раза ($K_4 = 13,0/10,9 = 1,19$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (455,0 млн. лет), получим размах ($R_3 = 468,0 - 461,0 = 7,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 462,7 \cdot 0,01940 = 9,0$ млн. лет) в 1,29 раза ($K_3 = 7,0/9,0 = 1/1,29$). Из трех значений коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_4 = 1,19$. Поэтому оптимальна совокупность из первых четырех датировок, по которым рассчитано среднее начало лландейльского века: $462,7 \pm 3,3 t$ млн. лет.

Поздняя эпоха. Карадокский век. Ранняя фаза. Опубликовано шесть датировок: 438,0 (66), 450,0 (39), 452,6 (74), 458,0 (46), 459,4 (9) и 464,7 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_6 = 464,7 - 438,0 = 26,7$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 455,0 \cdot 0,02905 = 13,2$ млн. лет) в 2,02 раза ($K_6 = 26,7/13,2 = 2,02$). Исключив первую наиболее резко выделяющуюся датировку (438,0 млн. лет), находим, что размах ($R_5 = 464,7 - 450,0 = 14,7$ млн. лет) больше ожидаемого ($R_5 = 455,0 \cdot 0,02667 = 12,1$ млн. лет) в 1,21 раза ($K_5 = 14,7/12,1 = 1,21$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся оценки (464,7 млн. лет) получаем размах ($R_4 = 459,4 - 450,0 = 9,4$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 455,0 \cdot 0,02360 = 10,7$ млн. лет) в 1,14 раза ($K_4 = 9,4/10,7 = 1/1,14$). Из трех значений коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1/1,14$. Поэтому оптимальной является совокупность из четырех датировок (450,0 - 459,4 млн. лет). По ним рассчитано среднее начало карадокского века: $455,0 \pm 2,4 t$ млн. лет.

Поздняя фаза. Опубликовано две датировки: 447,8 (3) и 452,2 млн. лет (9). Их разность ($R_2 = 452,2 - 447,8 = 4,4$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_2 = 450,0 \cdot 0,01293 = 5,8$ млн. лет). Поэтому находим, что датировки образуют единую совокупность. В среднем по ним начало поздней фазы карадокского века: $450,0 \pm 2,8$ т млн. лет.

Ашгилльский век. Опубликовано пять датировок: 425,4 (66), 440,0 (39), 444,9 (9), 448,0 (46) и 454,7 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 454,7 - 425,4 = 29,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 444,3 \cdot 0,02667$) (11,8 млн. лет) в 2,48 раза ($K_5 = 29,3/11,8 = 2,48$). Исключив наиболее резко выделяющуюся первую датировку (425,4 млн. лет), найдем, что размах ($R_4 = 454,7 - 440,0 = 14,7$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 444,3 \cdot 0,02360 = 10,5$ млн. лет) в 1,40 раза ($K_4 = 14,7/10,5 = 1,40$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся оценки (454,7 млн. лет) получим размах ($R_3 = 448,0 - 440,0 = 8,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 444,3 \times 0,01940 = 8,6$ млн. лет) в 1,08 раза ($K_3 = 8,0/8,6 = 1/1,08$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1/1,08$, что свидетельствует о лучшей сходимости дисперсии совокупности из трех датировок (440,0 – 448,0 млн. лет) со средней дисперсией среди "хороших" оценок фанерозоя, где $\sigma_0 = 1,15$ %. По этим трем датировкам вычислено среднее начало ашгильского века: $444,3 \pm 2,6$ т млн. лет.

СИЛУРИЙСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Лландоверийский век. Опубликовано 23 датировки: 409,4 (11), 418,0 (41, 66), 428,9 (1, 2, 10, 13, 21), 432,9 (3), 433,1 (55), 434,5 (9), 435,0 (12, 39), 436,0 (15), 436,5 (26, 27), 437,0 (59), 438,0 (46), 438,1 (45), 442,5 (74), 445,7 (28), 448,3 (51) и 453,3 млн. лет (56). Их статистика не соответствует нормальному распределению ($Q < 1\%$) из-за дефицита датировок в интервале 429,0 – 432,8 млн. лет (нет ни одной оценки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), а также повышенной плотности датировок в интервале 432,9 – 438,1 млн. лет (11 оценок против ожидаемых пяти, $Q < 0,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп датировок: 1) 409,4–428,9 млн. лет – восемь оценок, 2) 432,9–453,3 млн. лет – 15 датировок. Предпочтительнее вторая группа, в основном с новейшими оценками (1978–1984 гг.), в то время как в первой группе преобладают устаревшие (1960–1968 гг.) данные. Во второй группе разность крайних датировок ($R_{15} = 453,3 - 432,9 = 20,4$ млн. лет) превышает ожидаемую ($\bar{R}_{15} = 437,8 \cdot 0,03980 = 17,4$ млн. лет) в 1,17 раза ($K_{15} = 20,4/17,4 = 1,17$). После исключения наиболее резко выделяющейся оценки (453,3 млн. лет) получаем размах ($R_{14} = 448,3 - 432,9 = 15,4$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_{14} = 437,8 \cdot 0,03905 = 17,1$ млн. лет) в 1,11 раза ($K_{14} = 15,4/17,1 = 1/1,11$). Из двух величин коэффициентов K ближе соответствует единице $K_{14} = 1/1,11$, что свидетельствует о лучшей сходимости среднеквадратичного относительного отклонения в статистике

из 14 датировок с ожидаемым среднеквадратичным относительным отклонением $\sigma_0 = 1,15\%$. Поэтому по 14 оценкам (432,9 – 448,3 млн. лет) вычислено среднее начало лландоверийского века: $437,8 \pm 1,3 t$ млн. лет.

Венлокский век. Опубликованы четыре датировки: 423,0 (39), 425,1 (9), 428,0 (46) и 440,1 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_4 = 440,1 - 423,0 = 17,1$ млн. лет) превышает ожидаемую ($\bar{R}_4 = 425,4 \cdot 0,02360 = 10,0$ млн. лет) в 1,71 раза ($K_4 = 17,1/10,0 = 1,71$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (440,1 млн. лет) находим, что размах ($R_3 = 428,0 - 423,0 = 5,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 425,4 \cdot 0,01940 = 8,3$ млн. лет) в 1,66 раза ($K_3 = 5,0/8,3 = 1/1,66$). Из двух значений коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_3 = 1/1,66$, что свидетельствует о лучшей сходимости среднеквадратичного относительного отклонения в статистике из первых трех датировок со среднеквадратичным относительным отклонением "хороших" оценок фанерозоя $\sigma_0 = 1,15\%$. Поэтому по трем датировкам (423,0 – 428,0 млн. лет) рассчитано среднее начало венлокского века: $425,4 \pm 1,6 t$ млн. лет.

Поздняя эпоха. Лудловский век. Опубликованы пять датировок: 413,1 (3), 414,0 (39), 414,4 (9), 421,0 (46) и 432,5 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 432,5 - 413,1 = 19,4$ млн. лет) превышает ожидаемую ($\bar{R}_5 = 419,0 \cdot 0,02667 = 11,2$ млн. лет) в 1,73 раза ($K_5 = 19,4/11,2 = 1,73$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (432,5 млн. лет) находим, что размах ($R_4 = 421,0 - 413,1 = 7,9$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 419,0 \cdot 0,02360 = 9,9$ млн. лет) в 1,25 раза ($K_4 = 7,9/9,9 = 1/1,25$), что свидетельствует о лучшей сходимости среднеквадратичного относительного отклонения статистики из первых четырех датировок с ожидаемым среднеквадратичным относительным отклонением $\sigma_0 = 1,15\%$. Однако в этом случае начало лудловского века (415,6 млн. лет) приближается к средней оценке начала даунтонского (414,0 млн. лет, см. ниже), а длительность лудловского века получается равной 1,6 млн. лет, т. е. в шесть раз меньше, чем смежного с ним венлокского (9,8 млн. лет), что противоречит второму принципу: длительность века не может в четыре или более раз превышать продолжительность смежного века. Поэтому среднее начало лудловского века рассчитано по всей совокупности пяти датировок, оно оказалось равным $419,0 \pm 3,9 t$ млн. лет.

Даунтонский век. Опубликованы три датировки: 407,6 (9), 414,0 (46) и 424,2 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_3 = 424,2 - 407,6 = 16,6$ млн. лет) превышает ожидаемую ($\bar{R}_3 = 414,0 \cdot 0,01940 = 8,0$ млн. лет) в 2,08 раза ($K_3 = 16,6/8,0 = 2,08$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (424,2 млн. лет), находим, что размах ($R_2 = 414,0 - 407,6 = 6,4$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 414,0 \cdot 0,01293 = 5,4$ млн. лет) – в 1,19 раза ($K_2 = 6,4/5,4 = 1,19$). К тому же среднее начало даунтонского века в этом

случае (410,8 млн. лет) будет примерно соответствовать началу жединского (409,6 млн. лет, см. ниже), а длительность даунтонского века (1,2 млн. лет) будет в семь раз меньше продолжительности смежного лудловского века (8,2 млн. лет), что нарушает второй принцип: длительность века не может в четыре или более раз превышать продолжительность смежного века. Поэтому начало даунтонского века определено по новейшей (1982 г.) второй датировке: $414,0 \pm 4,7 t$ млн. лет. Вероятная ошибка здесь рассчитана по среднеквадратичной относительной ошибке "хороших" оценок фанерозоя $\sigma_0 = 1,15\%$: $4,7 = 414,0 \cdot 0,0115$.

ДЕВОНСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Жединский век. Опубликовано 23 датировки: 390,0 (11), 394,0 (41), 394,9 (10, 21), 395,0 (39), 397,8 (27), 398,0 (9), 398,2 (3), 399,7 (1, 2, 13, 26, 74), 400,0 (66), 405,0 (12), 407,8 (45, 51), 408,0 (46), 410,0 (15, 59), 412,8 (55), 415,8 (28) и 422,9 млн. лет (56). Эта статистика не соответствует нормальному распределению ($Q > 5\%$) из-за низкой плотности датировок в интервале 400,1 – 407,7 млн. лет (всего одна оценка в противоположность ожидаемых девяти, $Q < 1\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 390,0 – 400,0 млн. лет – 14 датировок, 2) 405,0 – 422,9 млн. лет – девять оценок. Предпочтительнее вторая группа, в основном с новейшими (1978 – 1984 гг.) датировками, в то время как в первой группе преобладают устаревшие (1964 – 1975 гг.) данные. И все же выбор оптимальной группы в данном случае непрост, поскольку и первая и вторая группы содержат по четыре самых новейших датировки восьмидесятых годов. Среднеквадратичные относительные ошибки шкал (9, 27, 39, 66) первой группы соответственно равны: 1,4; 5,8, 4,3 и 4,5 %, в среднем $\sigma_1 = 4,3\%$; а шкал (12, 15, 46 и 59) второй группы 4,1; 2,5; 2,6 и 1,9 %, в среднем $\sigma_2 = 2,9\%$. Таким образом, и в этом расчете лучшими оказались датировки восьмидесятых годов второй группы, так как $\sigma_2 < \sigma_1$. Во второй группе разность крайних значений ($R_9 = 422,9 - 405,0 = 17,9$ млн. лет) больше ожидаемой ($R_9 = 409,6 \cdot 0,03405 = 13,9$ млн. лет) в 1,29 раза ($K_9 = 17,9/13,9 = 1,29$). Исключив наиболее резко выделяющуюся последнюю датировку (422,9 млн. лет), получаем размах ($R_8 = 415,8 - 405,0 = 10,8$ млн. лет) меньше ожидаемого ($R_8 = 409,6 \cdot 0,03264 = 13,4$ млн. лет) в 1,24 раза ($K_8 = 10,8/13,4 = 1/1,24$). Таким образом, оптимальное ($1,24 < 1,29$) среднее начало живетского века рассчитано по первым восьми датировкам второй группы (405,0 – 415,8 млн. лет). Оно оказалось равным $409,6 \pm 1,2 t$ млн. лет.

Зигенский век. Опубликовано пять датировок: 387,0 (39), 392,1 (9), 397,0 (74), 401,0 (46) и 405,2 млн. лет (28). Разность крайних значений здесь ($R_5 = 405,2 - 387,0 = 18,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($R_5 = 401,1 \cdot 0,02667 = 10,7$ млн. лет) в 1,70 раза ($K_5 = 18,2/10,7 = 1,70$). После исключения наиболее резко выделяющейся первой оценки (387,0 млн. лет) получаем размах ($R_4 = 405,2 - 392,1 = 13,1$ млн. лет) больше ожидаемого ($R_4 = 401,1 \cdot 0,02360 = 9,5$ млн. лет) в 1,38 ра-

за ($K_4 = 13,1/9,5 = 1,38$). Исключив вторую наиболее резко выделяющуюся датировку (392,1 млн. лет), находим, что размах ($R_3 = 405,2 - 397,0 = 8,2$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 401,1 \cdot 0,01940 = 7,8$ млн. лет), но всего в 1,05 раза ($K_3 = 8,2/7,8 = 1,05$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (405,2 млн. лет), получим размах ($R_2 = 401,0 - 397,0 = 4,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 401,1 \cdot 0,01293 = 5,2$ млн. лет) в 1,30 раза ($K_2 = 4,0/5,2 = 1/1,30$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,05$, поэтому по трем датировкам (397,0 – 405,2 млн. лет) вычислено среднее начало зигенского века: $401,1 \pm 2,7$ т млн. лет.

Эмский век. Опубликованы пять датировок: 374,0 (39), 380,8 (74), 386,2 (9), 394,0 (46) и 400,5 млн. лет (28). Здесь разность крайних значений ($R_5 = 400,5 - 374,0 = 26,5$ млн. лет) больше ожидаемой ($R_5 = 390,1 \cdot 0,02667 = 10,4$ млн. лет) в 2,55 раза ($K_5 = 26,5/10,4 = 2,55$). Исключив наиболее резко выделяющуюся первую оценку (374,0 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 400,5 - 380,8 = 19,7$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 390,1 \cdot 0,02360 = 9,2$ млн. лет) в 2,14 раза ($K_4 = 19,7/9,2 = 2,14$). После исключения другой наиболее резко выделяющейся датировки (400,5 млн. лет) получаем размах ($R_3 = 394,0 - 380,0 = 13,2$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 390,1 \cdot 0,01940 = 7,6$ млн. лет) в 1,74 раза ($K_3 = 13,2/7,6 = 1,74$). После исключения еще одной оценки (380,8 млн. лет) для оставшихся двух новейших (1982 и 1984 гг.) датировок находим размах ($R_2 = 394,0 - 386,2 = 7,8$ млн. лет), хотя и больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 390,1 \cdot 0,01293 = 5,0$ млн. лет) в 1,55 раза ($K_2 = 7,8/5,0 = 1,55$), но допустимого на 95 %-ном уровне значимости. По этим двум оценкам (386,2 и 394,0 млн. лет) и вычислено среднее начало эмского века: $390,1 \pm 4,9$ т млн. лет.

Средняя эпоха. Эйфельский век. Опубликованы восемь датировок: 370,0 (39), 374,4 (3), 376,8 (64), 380,9 (9), 385,0 (66), 387,5 (55), 394,0 (46) и 396,2 млн. лет (74). Здесь разность крайних оценок ($R_8 = 396,2 - 370,0 = 26,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_8 = 381,0 \cdot 0,03264 = 12,4$ млн. лет) в 2,11 раза ($K_8 = 26,2/12,4 = 2,11$). Исключив две наиболее резко выделяющиеся датировки (396,2 и 394,0 млн. лет), находим, что размах ($R_6 = 387,5 - 370,0 = 17,5$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 381,0 \cdot 0,02905 = 11,1$ млн. лет) в 1,58 раза ($K_6 = 17,5/11,1 = 1,58$). После исключения наиболее резко выделяющейся оценки (370,0 млн. лет) получаем размах ($R_5 = 387,5 - 374,4 = 13,1$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 381,0 \cdot 0,02667 = 10,2$ млн. лет) в 1,29 раза ($K_5 = 13,1/10,2 = 1,29$). Исключив еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (387,5 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 385,0 - 374,4 = 10,1$ млн. лет), хотя и больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 381,0 \cdot 0,02360 = 9,0$ млн. лет), но всего в 1,12 раза ($K_4 = 10,1/9,0 = 1,12$). Если же исключить еще одну наиболее резко вы-

деляющуюся оценку (387,5 млн. лет), то получим размах ($R_3 = 380,9 - 374,4 = 6,5$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 381,0 \cdot 0,01940 = 7,4$ млн. лет) в 1,14 раза ($K_3 = 6,5/7,4 = 1/1,14$). Среди пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,12$, поэтому по четырем датировкам (374,4 – 385,0 млн. лет) вычислено среднее начало эйфельского века: 379,4 млн. лет, близкое к датировке начала живетского века (377,4 млн. лет, см. ниже). При этом длительность эйфельского века получилась равной 2,0 млн. лет, что в 5,4 раза меньше продолжительности эмского века (10,7 млн. лет). Поскольку такое соотношение длительности смежных веков противоречит второму принципу, принимаем в качестве оптимальной группу из пяти оценок (374,4 – 387,5 млн. лет), включающую в основном новейшие датировки (1978 – 1984 гг.). По ним и было рассчитано среднее начало эйфельского века: $381,0 \pm 2,7 t$ млн. лет.

Живетский век. Опубликовано четыре датировки: 366,0 (39), 374,7 (9), 380,0 (46) и 391,0 (28). Здесь разность крайних оценок ($R_4 = 391,0 - 366,0 = 25,0$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_4 = 377,4 \times 0,02360 = 8,9$ млн. лет) в 2,81 раза ($K_4 = 25,0/8,9 = 2,81$). Исключив наиболее резко выделяющуюся устаревшую (1976 г.) последнюю датировку (391,0 млн. лет), находим размах ($\bar{R}_3 = 380,0 - 366,0 = 14,0$ млн. лет) также больше ожидаемого ($R_3 = 377,4 \cdot 0,01940 = 7,3$ млн. лет) в 1,91 раза ($K_3 = 14,0/7,3 = 1,91$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся датировки (366,0 млн. лет) получаем размах ($R_2 = 380,0 - 374,4 = 5,3$ млн. лет) больше ожидаемого ($R_2 = 377,4 \times 0,01293 = 4,9$ млн. лет) всего в 1,09 раза ($K_2 = 5,3/4,9 = 1,09$). В итоге по двум самым новейшим оценкам (1982 и 1984 гг.) вычислено среднее начало живетского века: $377,4 \pm 3,3 t$ млн. лет).

Поздняя эпоха. Франский век. Опубликовано восемь датировок: 358,6 (3), 360,0 (39), 365,7 (74), 369,4 (9), 372,3 (55), 374,0 (46), 375,0 (66) и 384,6 млн. лет (28). Разность крайних оценок здесь ($R_8 = 384,6 - 358,6 = 26,0$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_8 = 371,3 \cdot 0,03264 = 12,1$ млн. лет) – в 2,15 раза ($K_8 = 26,0/12,1 = 2,15$). Исключив последнюю наиболее резко выделяющуюся датировку (384,6 млн. лет), получаем размах ($R_7 = 375,0 - 358,6 = 16,4$ млн. лет) также больше ожидаемого ($R_7 = 371,3 \cdot 0,03100 = 11,5$ млн. лет) в 1,42 раза ($K_7 = 16,4/11,5 = 1,42$). После исключения первой, наиболее резко выделяющейся оценки (353,0 млн. лет) находим размах ($R_6 = 375,0 - 359,6 = 15,4$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 371,3 \cdot 0,02905 = 10,8$ млн. лет) в 1,43 раза ($K_6 = 15,4/10,8 = 1,43$). Если исключить еще одну, наиболее резко выделяющуюся датировку (356,6 млн. лет), то получим размах ($R_5 = 375,0 - 365,7 = 9,3$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 371,3 \cdot 0,02667 = 9,9$ млн. лет) в 1,06 раза ($K_5 = 9,3/9,9 = 1/1,06$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_5 = 1/1,06$, поэтому по пяти в основном новейшим (1982 – 1984 гг.) оценкам (365,7 –

375,0 млн. лет) было вычислено среднее начало франского века: $371,3 \pm 1,8$ т млн. лет.

Фаменский век. Опубликованы пять датировок: 353,0 (39), 359,6 (74), 361,1 (9), 367,0 (46) и 380,5 млн. лет (28). Здесь разность между крайними оценками ($R_5 = 380,5 - 353,0 = 27,5$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 362,6 \cdot 0,02667 = 9,7$ млн. лет) — в 2,84 раза ($K_5 = 27,5/9,7 = 2,84$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (380,5 млн. лет) находим, что размах ($R_4 = 367,0 - 353,0 = 14,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 362,6 \times 0,02360 = 8,6$ млн. лет) в 1,64 раза ($K_4 = 14,0/8,6 = 1,64$). Исключив еще одну менее ценную (39) оценку (353,0 млн. лет), получаем размах ($R_3 = 367,0 - 359,6 = 7,4$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 362,6 \cdot 0,01940 = 7,0$ млн. лет), но всего в 1,05 раза ($K_3 = 7,4/7,0 = 1,05$). Если же исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (367,0 млн. лет), то получим размах ($R_2 = 361,1 - 359,6 = 1,5$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 362,6 \cdot 0,01293 = 4,7$ млн. лет) — в 3,13 раза ($K_2 = 1,5/4,7 = 1/3,13$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,05$, поэтому по трем в основном новейшим (1982 — 1984 гг.) оценкам (359,6 — 367,0 млн. лет) и было рассчитано среднее начало фаменского века: $362,6 \pm 2,5$ т млн. лет.

КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Турнейский век. Опубликованы 22 датировки: 312,2 (11), 339,4 (26), 341,4 (1, 2, 10, 21, 27), 343,7 (3), 345,0 (39), 347,0 (45), 347,5 (15), 349,3 (74), 350,0 (12), 351,1 (13), 352,0 (55), 353,9 (9), 354,0 (41), 357,1 (51), 360,0 (46, 66), 367,8 (28) и 377,4 млн. лет (56). Из них первая (310,0 млн. лет) резко отличается от всех остальных, так как $r_{22}^1 = (339,4 - 312,2)/(377,4 - 312,2) = 0,417$ ($Q < 1\%$). Среди двадцати одной оценки две последние (367,8 и 377,4 млн. лет) также резко отличаются от остальных 19, поскольку $r_{21}^2 = (377,4 - 360,0)/(377,4 - 339,4) = 0,458$ ($Q < 2\%$). Таким образом, получены три группы датировок: 1) 312,2 млн. лет — одна оценка, 2) 339,4 — 360,0 млн. лет — 19 датировок, 3) 367,8 — 377,4 млн. лет — две оценки. Предпочтительнее вторая основная группа, главным образом с новейшими (1978 — 1984 гг.) датировками, в то время как в первой и третьей преобладают устаревшие (1960 — 1971 гг.) данные. Среди оценок второй группы разность крайних ($R_{19} = 360,0 - 339,4 = 20,6$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_{19} = 353,5 \cdot 0,04228 = 14,9$ млн. лет) в 1,38 раза ($K_{19} = 20,6/14,9 = 1,38$). После исключения первой, наименее ценной (26) из крайних датировок (339,4 млн. лет) находим, что размах ($R_{18} = 360,0 - 341,4 = 18,6$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_{18} = 353,5 \times 0,04172 = 14,7$ млн. лет) в 1,26 раза ($K_{18} = 18,6/14,7 = 1,26$). После исключения пяти главным образом устаревших оценок (341,4 млн. лет) получаем размах ($R_{13} = 360,0 - 343,7 = 16,3$ млн. лет) также больше

ожидаемого ($\bar{R}_{13} = 353,5 \cdot 0,03824 = 13,5$ млн. лет) в 1,21 раза ($K_{13} = 16,3/13,5 \approx 1,21$). Исключив еще одну малоценную (3) датировку (343,7 млн. лет), находим, что размах ($R_{12} = 360,0 - 345,0 = 15,0$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_{12} = 353,5 \cdot 0,03736 = 13,2$ млн. лет), но всего в 1,14 раза ($K_{12} = 15,0/13,2 = 1,14$). Дальнейшее сокращение интервала оптимальной датировки связано с выбором, что лучше: а) исключить оценку 1983 г. (39) или б) две датировки 1982 г. (46 и 66). Среднеквадратичная относительная ошибка определения геологического возраста в (39) $\sigma_1 = 4,3\%$; в (46) — $\sigma_2 = 2,6\%$; в (66) — $\sigma_3 = 4,5\%$, в среднем в (46 + 66) $\sigma_4 = 3,7\%$. Поскольку $\sigma_4 < \sigma_{\text{г}}$, принимаем решение исключить менее ценную (39) датировку (345,0 млн. лет). После этого находим, что размах ($R_{11} = 360,0 - 347,0 = 13,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_{11} = 353,5 \cdot 0,03637 = 12,9$ млн. лет) всего в 1,01 раза ($K_{11} = 13,0/12,9 = 1,01$). Если исключить еще одну устаревшую (1964 г.) оценку (347,0 млн. лет), то получим размах ($R_{10} = 360,0 - 347,5 = 12,5$ млн. лет), равный ожидаемому ($\bar{R}_{10} = 353,5 \cdot 0,03528 = 12,5$ млн. лет). Таким образом, по десяти в основном новейшим (1981 — 1984 гг.) датировкам (347,5 — 360,0 млн. лет) рассчитано среднее начало турнейского века: $353,5 \pm 1,4$ т млн. лет.

Визейский век. Опубликовано пять датировок: 335,0 (39), 342,6 (9), 343,9 (74), 352,0 (46) и 355,0 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 355,0 - 335,0 = 20,0$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($R_5 = 346,2 \cdot 0,02667 = 9,2$ млн. лет) — в 2,17 раза ($K_5 = 20,0/9,2 = 2,17$). Исключив наиболее резко выделяющуюся малоценную (39) датировку (335,0 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 355,0 - 342,6 = 12,4$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 346,2 \cdot 0,02360 = 8,2$ млн. лет) в 1,52 раза ($K_4 = 12,4/8,2 = 1,52$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся устаревшей (1978 г.) оценки (355,0 млн. лет) получим размах ($R_3 = 352,0 - 342,6 = 9,4$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 346,2 \cdot 0,01940 = 6,7$ млн. лет) в 1,40 раза ($K_3 = 9,4/6,7 \approx 1,40$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (352,0 млн. лет), найдем, что размах ($R_2 = 343,9 - 342,6 = 1,3$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 346,2 \cdot 0,01293 = 4,5$ млн. лет) в 3,44 раза ($K_2 = 1,3/4,5 = 1/3,44$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,40$, поэтому по трем главным образом новейшим (1982 — 1984 гг.) оценкам (342,6 — 352,0 млн. лет) рассчитано среднее начало визейского века: $346,2 \pm 3,3$ т млн. лет.

Серпуховской век. Опубликовано семь датировок: 320,0 (66), 325,0 (39), 326,0 (9), 326,7 (55), 331,2 (74), 333,0 (46) и 340,3 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_7 = 340,3 - 320,0 = 20,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 328,4 \cdot 0,03100 = 10,2$ млн. лет) в 1,99 раза ($K_7 = 20,3/10,2 = 1,99$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (340,3 млн. лет), находим, что размах ($R_6 = 333,0 - 320,0 =$

= 13,0 млн. лет) также больше ожидаемого ($R_6 = 328,4 \cdot 0,02905 = 9,5$ млн. лет) — в 1,36 раза ($K_6 = 13,0/9,5 = 1,36$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (320,0 млн. лет), то получим размах ($R_5 = 333,0 - 325,0 = 8,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 328,4 \cdot 0,02667 = 8,8$ млн. лет) в 1,09 раза ($\bar{R}_5 = 8,0/8,8 = 1/1,09$). Наилучшее приближение к единице обнаруживает $K_5 = 1/1,09$, поэтому по пяти главным образом новейшим (1982 — 1984 гг.) датировкам и рассчитано среднее начало серпуховского века: $328,4 \pm 1,7$ т млн. лет.

Средняя эпоха. Башкирский век. Опубликовано восемь датировок: 310,0 (66), 315,0 (39), 316,8 (9), 318,5 (74), 318,9 (3), 320,0 (15, 46) и 329,6 млн. лет (28). Одна из них (329,6 млн. лет) резко отличается от остальных семи, так как $r_{\frac{1}{8}} = (329,6 - 320,0) / (329,6 - 310,0) = 0,492$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 310,0 — 320,0 млн. лет — семь оценок, 2) 329,6 млн. лет — одна датировка. Предпочтительнее первая, основная группа, главным образом с новейшими оценками (1982 — 1984 гг.), в то время как во второй группе — устаревшая датировка (1978 г.). В первой группе разность крайних оценок ($R_7 = 320,0 - 310,0 = 10,0$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 317,0 \cdot 0,03100 = 9,8$ млн. лет) — в 1,02 раза ($K_7 = 10,0/9,8 = 1,02$). Если исключить наиболее резко выделяющуюся датировку (310,0 млн. лет), то получим размах ($R_6 = 320,0 - 315,0 = 5,0$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 317,0 \cdot 0,02905 = 9,2$ млн. лет) — в 1,84 раза ($K_6 = 5,0/9,2 = 1/1,84$). Ближе к единице — коэффициент $K_7 = 1,02$. Поэтому по семи главным образом новейшим (1982 — 1984 гг.) датировкам рассчитано среднее начало башкирского века: $317,0 \pm 1,4$ т млн. лет.

Московский век. Опубликовано три датировки: 305,0 (39) и 308,0 млн. лет (9, 15). Здесь разность оценок ($R_3 = 308,0 - 305,0 = 3,0$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_3 = 307,0 \cdot 0,01940 = 6,0$ млн. лет) почти в 2 раза ($K_3 = 3,0/6,0 = 1/1,99$), что свидетельствует о наличии единой совокупности датировок с дисперсией, не превышающей среднюю дисперсию среди "хороших" датировок фанерозоя. Поэтому по трем оценкам рассчитано среднее начало московского века: $307,0 \pm 1,1$ т млн. лет.

Поздняя эпоха. Касимовский век. Опубликовано семь датировок: 290,0 (39), 298,3 (74), 299,0 (3), 300,0 (15, 66), 300,8 (9) и 306,5 млн. лет (28). Из них первая резко отличается от остальных шести, так как $r_{\frac{1}{7}} = (298,3 - 290,0) / (306,5 - 290,0) = 0,503$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 290,0 млн. лет — одна оценка, 2) 298,3 — 306,5 млн. лет — шесть датировок. Во второй группе в основном новейшие (1981 — 1984 гг.) оценки (9, 15, 66). Первая также включает новейшую (1983 г.) датировку (39). При этом среднеквадратичные ошибки в шкалах (9, 15, 66) соответственно равны:

1,4, 2,5 и 4,5 %, в среднем 3,1 %; в датировке (39) — 4,3 %. Поэтому предпочтительнее вторая группа, включающая к тому же три из четырех оценок 80-х годов. Во второй группе разность крайних датировок ($R_6 = 306,5 - 298,3 = 8,2$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 308,0 \times 0,02905 = 8,7$ млн. лет). Поэтому по шести оценкам второй группы (298,3 — 306,5 млн. лет) рассчитано среднее начало касимовского века: $300,8 \pm 1,3 t$ млн. лет.

Гжельский век. Опубликованы две датировки: 285,0 (39) и 295,2 млн. лет (9) с размахом ($R_2 = 295,2 - 285,0 = 10,2$ млн. лет) значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 295,2 \cdot 0,01293 = 3,8$ млн. лет), в 2,67 раза ($K_2 = 10,2/3,8 = 2,67$), что не позволяет ($Q > 95$ %) объединить их в одну совокупность. Предпочтительнее новейшая (1984 г.) датировка. Кроме того, первая оценка (285,0 млн. лет) примерно совпадает с датировкой начала ассельского века (286,8 млн. лет, см. ниже). Если ее принять, то длительность гжельского века окажется равной 1,8 млн. лет, т. е. в 6,8 раз меньше продолжительности смежного касимовского века (12,2 млн. лет), что противоречит второму принципу. Таким образом, начало гжельского века принято равным $295,2 \pm 3,4 t$ млн. лет, где $3,4 = 295,2 \cdot 0,0115$ определено по среднеквадратичной относительной ошибке определения начала веков и фаз фанерозы ($\sigma_0 = 1,15$ %).

ПЕРМСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Ассельский век. Известна 21 датировка: 263,5 (11), 266,4 (26), 267,4 (27), 275,8 (45), 275,9 (51), 278,1- (1, 2, 10, 21), 279,1 (3), 280,0 (39), 283,8 (74), 285,0 (12, 15), 286,0 (46, 55, 56), 287,1 (9), 289,0 (28), 290,0 (66) и 290,2 млн. лет (13). Эта статистика не соответствует нормальному распределению из-за резкого дефицита датировок в интервале 267,5 — 275,7 млн. лет (ни одной оценки против ожидаемых пяти, $Q < 5$ %), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 263,5 — 267,4 млн. лет — три датировки, 2) 275,8 — 290,2 млн. лет — 18 оценок. Статистика второй группы также не соответствует нормальному распределению, главным образом из-за дефицита датировок в интервале 280,2 — 284,9 млн. лет (одна оценка против ожидаемых семи, $Q < 5$ %), что свидетельствует о наличии двух подгрупп: 2.1) 275,8 — 280,0 млн. лет — восемь датировок, 2.2) 283,8 — 290,2 млн. лет — десять оценок. Предпочтительнее вторая подгруппа второй группы, в основном с новейшими (1981 — 1984 гг.) датировками, в то время как первая группа и первая подгруппа второй группы содержат главным образом устаревшие данные (1959 — 1966 гг.). Разность крайних оценок во второй подгруппе второй группы ($R_{10} = 290,2 - 283,8 = 6,4$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{10} = 286,8 \times 0,03528 = 10,1$ млн. лет). Поэтому по десяти датировкам (283,8 — 290,2 млн. лет) и рассчитано среднее начало ассельского века: $286,8 \pm 0,7 t$ млн. лет.

Сакмарский век. Опубликованы две одинаковые датировки:

280,0 млн. лет (9, 66), которые и приняты за начало века: $280,0 \pm \pm 2,3 t$ млн. лет. Здесь вероятная ошибка рассчитана с учетом среднеквадратичной относительной ошибки определения начала веков и фаз фанерозоя по "хорошим" датировкам ($\sigma_0 = 1,15\%$) и числа оценок начала сакмарского века (две): $2,3 = 280,0 \cdot 0,0115 / \sqrt{2}$.

Артинский век. Опубликованы шесть датировок: 268,0 (39, 46), 271,9 (74), 273,0 (66), 274,4 (9) и 278,3 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_6 = 278,3 - 268,0 = 10,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 271,1 \cdot 0,02905 = 7,9$ млн. лет) в 1,31 раза ($K_6 = = 10,3/7,9 = 1,31$). После исключения наиболее резко выделяющейся устаревшей (1978 г.) датировки (278,3 млн. лет) находим, что размах ($R_5 = 274,4 - 268,0 = 6,4$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 271,1 \times \times 0,02667 = 7,2$ млн. лет) в 1,13 раза ($K_5 = 6,4/7,2 = 1/1,13$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_5 = 1/1,13$. Поэтому по пяти первым датировкам (268,0 - 274,4 млн. лет) и рассчитано среднее начало артинского века: $271,1 \pm 1,4 t$ млн. лет.

Кунгурский век. Опубликованы семь датировок: 255,0 (39), 261,7 (74), 263,0 (46), 265,0 (66), 266,5 (9), 269,4 (28) и 270,0 млн. лет (15). Разность крайних оценок здесь ($R_7 = 270,0 - 255,0 = 15,0$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 266,8 \cdot 0,03100 = 8,3$ млн. лет) в 1,81 раза ($K_7 = 15,0/8,3 = 1,81$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (255,0 млн. лет) находим, что размах ($R_6 = 270,0 - - 261,7 = 8,3$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 266,8 \times \times 0,02905 = 7,8$ млн. лет), но всегда в 1,07 раза ($K_6 = 8,3/7,8 = 1,07$). Если исключить еще одну устаревшую (1964 г.) оценку (261,7 млн. лет), то получим размах ($R_5 = 270,0 - 263,0 = 7,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 266,8 \cdot 0,02667 = 7,1$ млн. лет) в 1,02 раза ($K_5 = 7,0/7,1 = = 1/1,02$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_5 = 1/1,02$. Поэтому по пяти датировкам (263,0 - 270,0 млн. лет) рассчитано среднее начало кунгурского века: $266,8 \pm \pm 1,4 t$ млн. лет.

Поздняя эпоха. Уфимский век. Опубликованы пять датировок: 251,0 (39), 254,3 (3), 255,0 (15), 258,0 (46) и 260,8 млн. лет (9). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 260,8 - 251,0 = 9,8$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 257,0 \cdot 0,02667 = 6,9$ млн. лет) в 1,43 раза ($K_5 = 9,8/6,9 = 1,43$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (251,0 млн. лет) находим, что размах ($R^4 = 260,8 - 254,3 = = 6,5$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 257,0 \cdot 0,02360 = = 6,1$ млн. лет), но только в 1,07 раза ($K_4 = 6,5/6,1 = 1/1,07$). Если же исключить еще одну устаревшую (1975 г.) датировку (254,3 млн. лет), получим размах ($R_3 = 260,8 - 255,0 = 5,8$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 257,0 \cdot 0,01940 = 5,0$ млн. лет) в 1,16 раза ($K_3 = 5,8/5,0 = = 1,16$). И, наконец, после исключения еще одной оценки (255,0 млн. лет) находим, что размах ($R_2 = 260,8 - 258,0 = 2,8$ млн. лет) меньше

ожидаемого ($\bar{R}_2 = 257,0 \cdot 0,01293 = 3,3$ млн. лет) в 1,19 раза ($K_2 = 2,8/3,3 = 1/1,19$). Среди четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,07$. Поэтому по четырем последним датировкам (254,3 – 260,8 млн. лет) рассчитано среднее начало уфимского века: $257,0 \pm 1,6$ т млн. лет.

Казанский век. Опубликовано четыре датировки: 245,0 (74), 257,5 (9), 258,0 (66) и 258,7 млн. лет (28). Первая оценка резко отличается от остальных трех, так как $r_4^1 = (257,5 - 245,0) / (258,7 - 245,0) = 0,912$ ($Q < 1\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 245,0 млн. лет – одна датировка, 2) 257,5 – 258,7 млн. лет – три оценки. Предпочтительнее вторая основная группа с новейшими (1978 – 1984 гг.) датировками, в то время как первая группа включает устаревшую (1964 г.) оценку. Во второй группе разность крайних датировок ($R_3 = 258,7 - 257,9 = 1,2$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_3 = 254,8 \times 0,01940 = 4,9$ млн. лет). Поэтому по трем оценкам второй группы (257,9 – 258,7 млн. лет) рассчитано среднее начало казанского века (258,1 млн. лет). Но оно противоречит первому принципу Стенсена, поскольку начало более древнего, уфимского века (257,0 млн. лет) получается моложе казанского. Поэтому для устранения указанного противоречия начало казанского века рассчитано по всем четырем датировкам; оно оказалось равным $254,8 \pm 3,6$ т млн. лет.

Татарский век. Опубликовано шесть датировок: 234,8 (74), 243,0 (39), 250,0 (2), 250,3 (9), 252,3 (28) и 253,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_6 = 253,0 - 234,8 = 18,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 251,4 \cdot 0,02905 = 7,3$ млн. лет) в 2,49 раза ($K_6 = 18,2/7,3 = 2,49$). После исключения наиболее резко выделяющейся устаревшей (1964 г.) датировки (234,8 млн. лет) находим, что одна из оценок (243,0 млн. лет) резко отличается от остальных четырех, так как $r_5^1 = (250,0 - 243,0) / (253,0 - 243,0) = 0,700$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 234,8 – 243,0 млн. лет – две датировки, 2) 250,0 – 253,0 млн. лет – четыре оценки. В первой и во второй группах преобладают новейшие датировки 80-х годов. В первой это оценка шкалы (39), где среднеквадратичная относительная ошибка ($\sigma_1 = 4,3\%$). Во второй – это датировки шкал (9, 46), где $\sigma_2 = 1,4$, $\sigma_3 = 2,6\%$, в среднем $\sigma_4 = 2,1\%$, в два раза меньше $\sigma_1 = 4,3\%$. Поэтому предпочтительнее вторая группа. Здесь разность крайних оценок ($R_4 = 253,0 - 250,0 = 3,0$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_4 = 251,4 \times 0,02360 = 5,9$ млн. лет). Поэтому по четырем датировкам второй группы (250,0 – 253,0 млн. лет) рассчитано среднее начало татарского века: $251,4 \pm 0,8$ т млн. лет.

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРА

ТРИАСОВЫЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Индский век. Опубликовано 21 датировка: 219,6 (10, 11), 221,6 (26, 27), 224,5 (2, 21), 229,7 (74), 230,0 (12, 15, 39, 45, 51), 234,3 (1), 234,4 (3), 235,1 (55), 244,0

(13), 245,0 (66), 245,3 (9, 56), 247,0 (28) и 248,0 млн. лет (46). Эта статистика противоречит нормальному распределению ($Q < 1\%$) главным образом из-за дефицита оценок в интервалах 224,6 – 229,6 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$) и 235,2 – 243,9 млн. лет (также нет ни одной оценки вместо ожидаемых шести, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 219,6 – 224,5 млн. лет – шесть датировок, 2) 229,7 – 235,1 млн. лет – девять оценок, 3) 244,0 – 248,0 млн. лет – шесть датировок. Предпочтительнее третья группа, включающая главным образом новейшие оценки (1982 – 1984 гг.), в то время как в первых двух группах преобладают устаревшие (1959 – 1968 гг.) данные. В третьей группе разность крайних датировок ($R_6 = 248,0 - 244,0 = 4,0$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 245,8 \cdot 0,02905 = 7,1$ млн. лет). Поэтому по шести оценкам третьей группы (244,0 – 248,0 млн. лет) рассчитано среднее начало индского века: $245,8 \pm 0,6$ т млн. лет.

Оленекский век. Опубликована одна датировка: 242,0 млн. лет (9), полученная косвенным методом [7]. Принимая одинаковую длительность веков раннего триаса, вычислим начало оленекского века; $243,2 \pm 2,8$ т млн. лет, где $2,8 = 248,2 \cdot 0,0115$ определено по $\sigma_0 = 1,15\%$.

Средняя эпоха. Анизийский век. Известны семь датировок: 219,4 (3), 219,5 (74), 223,0 (39), 238,7 (9), 239,0 (66), 241,7 (28) и 243,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_7 = 243,0 - 219,4 = 23,6$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 240,6 \cdot 0,03100 = 7,5$ млн. лет) в 3,16 раза ($K_7 = 23,6/7,5 = 3,16$). После исключения двух устаревших (1964 и 1975 гг.) датировок (219,4 и 219,5 млн. лет) находим, что размах ($\bar{R}_6 = 243,0 - 223,0 = 20,0$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($R_6 = 240,6 \cdot 0,02667 = 6,4$ млн. лет) – в 3,12 раза ($K_5 = 20,0/6,4 = 3,12$). Одна из оставшихся оценок (223,0 млн. лет) резко отличается от остальных четырех, так как $r_{\frac{1}{3}} = (238,7 - 223,0) / (243,0 - 223,0) = 0,785$ ($Q < 1\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 223,0 млн. лет – одна датировка, 2) 238,7 – 243,0 млн. лет – четыре оценки. Обе группы включают в основном новейшие датировки 80-х годов: в первой – одна оценка шкалы (39), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,3\%$, во второй – три датировки шкал (9, 46, 66), где таковые равны 1,4, 2,6 и 4,5%, в среднем $\sigma_2 = 3,1\%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, предпочтительнее вторая, основная группа. Здесь размах ($R_4 = 243,0 - 238,7 = 4,3$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 240,6 \cdot 0,02360 = 5,7$ млн. лет). Поэтому по четырем оценкам (238,7 – 243,0 млн. лет) второй группы рассчитано среднее начало анизийского века: $240,6 \pm 1,1$ т млн. лет.

Ладинский век. Опубликованы пять датировок: 218,0 (39), 233,0 (66), 233,1 (9), 237,6 (28) и 238,0 млн. лет (46). Первая оценка резко отличается от остальных четырех, так как $r_{\frac{1}{3}} = (230,0 - 218,0) / (238,0 -$

– 218,0) = 0,750 ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 218,0 млн. лет – одна датировка, 2) 233,0 – 238,0 млн. лет – четыре оценки. Обе группы включают в основном новейшие датировки 80-х годов: в первой – датировка шкалы (39), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,3\%$, во второй – три датировки шкал (9, 46, 66), где среднеквадратичные относительные ошибки равны 1,4, 2,6 и 4,5%, в среднем $\sigma_2 = 3,1\%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, предпочтительнее вторая основная группа. Здесь размах ($R_4 = 238,0 - 233,0 = 5,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 235,4 \cdot 0,02360 = 5,6$ млн. лет). Поэтому по четырем датировкам второй группы (233,0 – 238,0 млн. лет) и рассчитано среднее начало ладинского века: $235,4 \pm 1,5$ т млн. лет.

Поздняя эпоха. Карнийский век. Опубликовано семь датировок: 209,3 (74), 209,5 (3), 212,0 (39), 228,8 (9), 229,0 (66), 231,0 (46) и 233,6 млн. лет (28). Здесь разность между крайними оценками ($R_7 = 233,6 - 209,3 = 24,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 230,6 \cdot 0,03100 = 7,1$ млн. лет) – в 3,40 раза ($K_7 = 24,3/7,1 = 3,40$). После исключения двух устаревших (1964 и 1975 гг.) датировок (209,3 и 209,5 млн. лет) находим, что размах ($R_5 = 233,6 - 212,0 = 21,6$ млн. лет) превышает ожидаемый ($\bar{R}_5 = 230,6 \cdot 0,02667 = 6,2$ млн. лет) даже в 3,51 раза ($K_5 = 21,6/6,2 = 3,51$). Одна из оставшихся оценок (212,0 млн. лет) резко отличается от остальных четырех, так как $r_s^1 = (228,8 - 212,0) / (233,6 - 212,0) = 0,778$ ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 212,0 млн. лет – одна датировка, 2) 228,8 – 233,6 млн. лет – четыре оценки. Обе группы, как и при рассмотрении оценок ладинского века, содержат в основном новейшие датировки 80-х годов. Предпочтительнее вторая основная группа. Здесь размах ($R_4 = 233,6 - 228,8 = 4,8$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 230,6 \cdot 0,02360 = 5,4$ млн. лет). Поэтому по четырем оценками второй группы (228,8 – 233,6 млн. лет) рассчитано среднее начало карнийского века: $230,6 \pm 1,0$ т млн. лет.

Норийский век. Опубликовано пять датировок: 205,0 (39), 220,0 (66), 221,4 (9), 225,0 (46) и 229,6 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 228,6 - 205,0 = 23,6$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 222,1 \cdot 0,02667 = 5,9$ млн. лет) – в 3,98 раза ($K_5 = 23,6/5,9 = 3,98$). После исключения устаревшей (1978 г.) датировки (228,6 млн. лет) находим, что размах ($R_4 = 225,0 - 205,0 = 20,0$ млн. лет) также значительно превышает ожидаемый ($\bar{R}_4 = 222,1 \cdot 0,02360 = 5,2$ млн. лет) в 3,82 раза ($K_4 = 20,0/5,2 = 3,82$). Исключив наиболее резко отличающуюся менее ценную (39) оценку (205,0 млн. лет), получаем размах ($R_3 = 225,0 - 220,0 = 5,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 222,1 \cdot 0,01940 = 4,3$ млн. лет) всего в 1,16 раза ($K_3 = 5,0/4,3 = 1,16$). Если исключить еще одну датировку (220,0 млн. лет), то получим размах ($R_2 = 225,0 - 221,4 = 3,6$ млн. лет) больше ожидаемого

($\bar{R}_2 = 222,1 \cdot 0,01293 = 2,9$ млн. лет) в 1,25 раза ($K_2 = 3,6/2,9 = 1,25$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,16$. Поэтому по трем оценкам (220,0 – 225,0 млн. лет) рассчитано среднее начало норийского века: $222,1 \pm 1,7 t$ млн. лет.

Рэтский век. Изучены пять датировок: 194,6 (3), 199, 0 (39), 215,3 (9), 219,0 (46) и 220,2 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 220,2 - 194,6 = 25,6$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 218,2 \cdot 0,02667 = 5,8$ млн. лет) в 4,40 раза ($K_5 = 25,6/5,8 = 4,40$). Исключив устаревшую (1975 г.) датировку (194,6 млн. лет), находим, что одна из оставшихся оценок (199,0 млн. лет) резко отличается от остальных трех, так как $r_4^1 = (215,3 - 199,0) / (220,2 - 199,0) = 0,769$ ($Q < 5\%$). Это свидетельствует о наличии двух групп: 1) 199,0 млн. лет – одна датировка, 2) 215,3 – 220,2 млн. лет – три оценки. Обе группы содержат в основном новейшие датировки 80-х годов: в первой – одна датировка шкалы (39), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,3\%$, во второй – две датировки шкал (9, 46), где среднеквадратичные относительные ошибки равны 1,4 и 2,6%, в среднем $\sigma_2 = 2,1\%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, предпочтительнее вторая основная группа. Здесь размах ($R_3 = 220,2 - 215,3 = 4,9$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 218,2 \cdot 0,01940 = 4,2$ млн. лет) всего в 1,16 раза ($K_3 = 4,9/4,2 = 1,16$). Если исключить еще одну датировку (220,0 млн. лет), то получим размах ($R_2 = 219,0 - 215,3 = 3,7$ млн. лет) существенно больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 218,2 \cdot 0,01293 = 2,8$ млн. лет) – в 1,31 раза ($K_2 = 3,7/2,8 = 1,31$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_3 = 1,16$. Поэтому по трем оценкам (215,3 – 220,2 млн. лет) рассчитано среднее начало рэтского века: $218,2 \pm 1,7 t$ млн. лет.

ЮРСКИЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Геттангский век. Известны 18 датировок: 180,6 (11), 184,2 (51), 184,6 (3), 185,2 (55), 186,5 (27), 187,4 (26), 190,0 (12), 190,4 (1, 2, 21), 194,9 (74), 195,0 (39), 201,0 (66), 202,6 (13), 204,7 (56), 205,1 (9), 212,0 (28) и 213,0 млн. лет (46). Эта статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 195,1 – 200,9 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 180,6 – 195,0 млн. лет – 12 оценок, 2) 201,0 – 213,0 млн. лет – шесть датировок. Предпочтительнее вторая группа, представленная в основном новейшими (1982 – 1984 гг.) оценками, в то время как в первой группе преобладают устаревшие (1959 – 1966 гг.) данные. Во второй группе разность крайних датировок ($R_6 = 213,0 - 201,0 = 12,0$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 208,7 \cdot 0,02905 = 6,1$ млн. лет) – в 1,98 раза ($K_6 = 12,0/6,1 = 1,98$). Из двух крайних оценок, опубликованных в одном и том же 1982 г., менее ценная (201,0 млн. лет) – из шкалы (66), поскольку для последней характерна среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,5\%$, в то время как

в шкале (16) таковая равна $\sigma_2 = 2,6 \%$. Исключив первую датировку (201,0 млн. лет), получаем размах ($R_5 = 213,0 - 202,6 = 11,4$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 208,7 \cdot 0,02667 = 5,6$ млн. лет) в 2,05 раза ($K_5 = 11,4/5,6 = 2,05$). После исключения еще одной, устаревшей (1974 г.) оценки (202,6 млн. лет) находим, что размах ($R_4 = 213,0 - 204,7 = 8,3$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 208,7 \cdot 0,02360 = 4,9$ млн. лет), но уже в 1,69 раза ($K_4 = 8,3/4,9 = 1,69$). Исключив еще одну устаревшую (1971 г.) датировку (204,7 млн. лет), получаем размах ($R_3 = 213,0 - 205,1 = 7,9$ млн. лет) еще больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 208,7 \cdot 0,01940 = 4,0$ млн. лет) — в 1,95 раза ($K_3 = 7,9/4,0 = 1,95$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (205,1 млн. лет), получим размах ($R_2 = 213,0 - 212,0 = 1,0$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 208,7 \cdot 0,01293 = 2,7$ млн. лет) — в 2,70 раза ($K_2 = 1,0/2,7 = 1/2,7$). Из пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,69$. Поэтому по четырем оценкам (204,7 — 213,0 млн. лет) и рассчитано среднее начало геттангского века: $208,7 \pm 2,4 t$ млн. лет.

Синемюрский век. Изучено шесть датировок: 179,6 (3), 188,0 (39), 192,0 (74), 201,0 (66), 201,2 (9) и 206,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_6 = 206,0 - 179,6 = 26,4$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 202,7 \cdot 0,02905 = 5,9$ млн. лет) в 4,48 раза ($K_6 = 26,4/5,9 = 4,48$). Исключив наиболее резко выделяющуюся устаревшую (1975 г.) датировку (179,6 млн. лет), находим, что размах ($R_5 = 206,0 - 188,0 = 18,0$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 202,7 \cdot 0,02667 = 5,4$ млн. лет), в 3,33 раза ($K_5 = 18,0/5,4 = 3,33$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся оценки (188,0 млн. лет) находим, что размах ($R_4 = 206,0 - 192,0 = 14,0$ млн. лет) превышает ожидаемый ($\bar{R}_4 = 202,7 \cdot 0,02360 = 4,8$ млн. лет) в 2,93 раза ($K_4 = 14,0/4,8 = 2,93$). Исключив еще одну, устаревшую (1964 г.) датировку (192,0 млн. лет), получим размах ($R_3 = 206,0 - 201,0 = 5,0$ млн. лет) также больше ожидаемого, ($\bar{R}_3 = 202,7 \times 0,01940 = 3,9$ млн. лет), но всего лишь в 1,27 раз ($K_3 = 5,0/3,9 = 1,27$). Если исключить еще одну датировку (206,0 млн. лет), найдем, что размах ($R_2 = 201,2 - 201,0 = 0,2$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 202,7 \cdot 0,01293 = 2,6$ млн. лет), в 13,1 раза ($K_2 = 0,2/2,6 = 1/13,1$). Из пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,27$. Поэтому по трем оценкам (201,0 — 206,0 млн. лет) и рассчитано среднее начало синемюрского века: $202,7 \pm 1,8 t$ млн. лет.

Плинсбахский век. Известны семь датировок: 175,6 (3), 183,0 (39), 186,9 (74), 194,0 (46), 195,0 (66), 195,6 (9) и 198,0 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_7 = 198,0 - 175,6 = 22,4$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_7 = 195,6 \cdot 0,03100 = 6,1$ млн. лет), в 3,69 раза ($K_7 = 22,4/6,1 = 3,69$). Исключив устаревшую (1975 г.)

датировку (175,6 млн. лет), получим размах ($R_6 = 198,0 - 183,0 = 15,0$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 195,6 \cdot 0,02905 = 5,7$ млн. лет), в 2,64 раза ($K_6 = 15,0/5,7 = 2,64$). После исключения наиболее резко выделяющейся оценки (183,0 млн. лет) находим, что размах ($R_5 = 198,0 - 186,9 = 11,1$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 195,6 \cdot 0,02667 = 5,2$ млн. лет) в 2,13 раза ($K_5 = 11,1/5,2 = 2,13$). После исключения устаревшей (1964 г.) датировки (186,9 млн. лет) получаем размах ($R_4 = 198,0 - 194,0 = 4,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 195,6 \cdot 0,02360 = 4,6$ млн. лет) всего в 1,15 раза ($K_4 = 4,0/4,6 = 1/1,15$). Из четырех величин коэффициента K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1/1,15$. Поэтому по четырем оценкам (194,0 - 198,0 млн. лет) рассчитано среднее начало плинсбахского века: $195,6 \pm 0,9$ т млн. лет.

Тоарский век. Изучены семь датировок: 171,7 (3), 178,0 (39), 181,8 (74), 187,4 (28), 187,6 (9), 189,0 (66) и 194,0 млн. лет: (46). Здесь разность крайних значений ($R_7 = 194,0 - 171,7 = 22,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($R_7 = 189,5 \cdot 0,03100 = 5,9$ млн. лет) - в 3,80 раза ($K_7 = 22,3/5,9 = 3,80$). Исключив устаревшую (1975 г.) датировку (171,7 млн. лет), находим, что размах ($R_6 = 194,0 - 178,0 = 16,0$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 189,5 \cdot 0,02905 = 5,5$ млн. лет) - в 2,91 раза ($K_6 = 16,0/5,5 = 2,91$). После исключения датировки (178,0 млн. лет) из шкалы (39), менее ценной по сравнению с датировкой из шкалы (46), получаем размах ($R_5 = 194,0 - 181,8 = 12,2$ млн. лет) также больше ожидаемого ($R_5 = 189,5 \cdot 0,02607 = 5,1$ млн. лет) - в 2,41 раза ($K_5 = 12,2/5,1 = 2,41$). Исключив устаревшую (1964 г.) оценку (181,8 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 194,0 - 187,4 = 6,6$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 189,5 \cdot 0,02360 = 4,5$ млн. лет) всего в 1,48 раза ($K_4 = 6,6/4,5 = 1,48$). Если же исключить еще одну, наиболее резко выделяющуюся датировку (194,0 млн. лет), то получим размах ($R_3 = 189,0 - 187,4 = 1,6$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($R_3 = 189,5 \cdot 0,01940 = 3,7$ млн. лет) - в 2,30 раза ($K_3 = 1,6/3,7 = 1/2,30$). Из пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,48$. Поэтому по четырем оценкам (187,4 - 194,0 млн. лет) рассчитано среднее начало тоарского века: $189,5 \pm 1,7$ т млн. лет.

Средняя эпоха. Ааленский век. Известны шесть датировок: 167,7 (3), 174,0 (55), 176,0 (39), 181,0 (66), 181,9 (9) и 188,0 млн. лет (46). Здесь размах ($R_6 = 188,0 - 167,7 = 20,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 183,6 \cdot 0,02905 = 5,3$ млн. лет) - в 3,81 раза ($K_6 = 20,3/5,3 = 3,81$). Исключив первые две устаревшие (1961 и 1975 гг.) оценки (167,7 и 174,0 млн. лет), находим, что размах ($R_4 = 188,0 - 176,0 = 12,0$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 183,6 \cdot 0,02360 = 4,3$ млн. лет) - в 2,77 раза ($K_4 = 12,0/4,3 = 2,77$). После исключения датировки (176,0 млн. лет) из шкалы (39),

менее ценной по сравнению с датировкой из шкалы (46), получим размах ($R_3 = 188,0 - 181,0 = 7,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 183,6 \cdot 0,01940 = 3,6$ млн. лет) в 1,97 раза ($K_3 = 7,0/3,6 = 1,97$). Если изъять еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (188,0 млн. лет), то получим размах ($R_2 = 181,9 - 181,0 = 0,9$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 183,6 \cdot 0,01293 = 2,4$ млн. лет) в 2,64 раза ($K_2 = 0,9/2,4 = 1/2,64$). Среди четырех величин коэффициента K меньше всего отличается от единицы $K_3 = 1,97$. Поэтому по трем датировкам (181,0 - 188,0 млн. лет) рассчитано среднее начало ааленского века: $183,6 \pm 2,5$ т млн. лет.

Байосский век. Изучены семь датировок: 163,7 (3), 174,0 (39), 175,7 (74), 176,5 (28), 176,7 (9), 178,0 (66) и 181,0 млн. лет (46). Первая оценка резко отличается от остальных шести, так как $r_{17}^1 = (174,0 - 163,7) / (181,0 - 163,7) = 0,595$ ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 163,7 млн. лет - одна датировка, 2) 174,0 - 181,0 млн. лет - шесть оценок. Предпочтительнее вторая основная группа, главным образом с новейшими (1982 - 1984 гг.) датировками, в то время как первая группа представлена устаревшей (1975 г.) оценкой. Во второй группе разность крайних датировок ($R_6 = 181,0 - 174,0 = 7,0$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 177,6 \cdot 0,02905 = 5,2$ млн. лет) - всего в 1,36 раза ($K_6 = 7,0/5,2 = 1,36$). После исключения оценки (174,0 млн. лет) из шкалы (39), менее ценной по сравнению с датировкой шкалы (46), находим, что размах ($R_5 = 181,0 - 175,7 = 5,3$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 177,6 \times 0,02667 = 4,7$ млн. лет) - всего в 1,12 раза ($K_5 = 5,3/4,7 = 1,12$). Если же исключить еще одну наиболее резко выделявшуюся оценку (181,0 млн. лет), то получим размах ($R_4 = 178,0 - 175,7 = 2,3$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($R_4 = 177,6 \cdot 0,02360 = 4,2$ млн. лет) - в 1,82 раза ($K_4 = 2,3/4,2 = 1/1,82$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_5 = 1,12$; поэтому по пяти датировкам (175,7 - 181,0 млн. лет) рассчитано среднее начало байосского века: $177,6 \pm 1,0$ т млн. лет.

Батский век. Известны шесть датировок: 157,7 (3), 167,0 (39), 170,0 (66), 170,3 (9), 170,6 (74) и 175,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R'_6 = 175,0 - 157,7 = 17,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}'_6 = 171,5 \cdot 0,02905 = 5,0$ млн. лет) - в 3,47 раза ($K'_6 = 17,3/5,0 = 3,47$). После исключения устаревшей (1975 г.) наиболее резко выделяющейся датировки (157,7 млн. лет) получаем размах ($R_5 = 175,0 - 167,0 = 8,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($R_5 = 171,5 \times 0,02667 = 4,6$ млн. лет) уже только в 1,75 раза ($K_5 = 8,0/4,6 = 1,75$). Исключив еще одну датировку (167,0 млн. лет) из шкалы (39), менее ценную, чем в шкале (46), находим, что размах ($R_4 = 175,0 - 170,0 = 5,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 171,5 \cdot 0,02360 = 4,0$ млн. лет), но всего лишь в 1,24 раза ($K_4 = 5,0/4,0 = 1,24$). Если исключить

еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (175,0 млн.лет), то получим размах ($R_3 = 170,6 - 170,0 = 0,6$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 171,5 \cdot 0,01940 = 3,3$, млн. лет) — в 5,55 раза ($K_3 = 0,6/3,3 = 1/5,55$). Среди четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1/1,24$. Поэтому по четырем датировкам (170,0 — 175,0 млн. лет) и рассчитано среднее начало батского века: $171,5 \pm 1,3$ т млн. лет.

Поздняя эпоха. Келловейский век. Изучены девять датировок: 152,7 (3), 153,6 (55), 158,0 (66), 164,0 (39), 164,5 (31), 165,3 (9), 165,5 (74), 165,8 (28) и 169,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_9 = 169,0 - 152,7 = 16,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_9 = 165,7 \cdot 0,03405 = 5,6$ млн. лет) — в 2,89 раза ($K_9 = 16,3/5,6 = 2,89$). Исключив две наиболее резко выделяющиеся устаревшие (1961 и 1975 гг.) датировки (152,7' и 153,6 млн. лет), получаем размах ($R_7 = 169,0 - 158,0 = 11,0$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 165,7 \cdot 0,03100 = 5,1$ млн. лет), но в 2,14 раза ($K_7 = 11,0/5,1 = 2,14$). При этом одна из оценок (158,0 млн. лет) резко отличается от остальных шести, так как $r_7^1 = (164,0 - 158,0)/(169,0 - 158,0) = 0,545$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 158,0 млн. лет — одна датировка, 2) 164,0 — 169,0 млн. лет — шесть оценок. В обеих группах преобладают новейшие датировки 80-х годов: в первой одна датировка из шкалы (66), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,5\%$; во второй — три датировки из шкал (9, 39 и 46), где среднеквадратичные относительные ошибки соответственно равны 1,4, 4,3 и 2,6, в среднем $\sigma_2 = 3,0\%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, предпочтительнее вторая основная группа. Здесь размах ($R_6 = 169,0 - 164,0 = 5,0$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 165,7 \times 0,02905 = 4,8$ млн. лет) — в 1,04 раза ($K_6 = 5,0/4,8 = 1,04$). Если же исключить еще одну оценку (169,0 млн. лет), которая к тому же резко отличается от остальных пяти, так как $r_6^1 = (169,0 - 165,8)/(169,0 - 164,0) = 0,640$ ($Q < 5\%$), то получим размах ($R_5 = 165,8 - 164,0 = 1,8$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 165,7 \cdot 0,02667 = 4,4$ млн. лет) — в 2,46 раза ($K_5 = 1,8/4,4 = 1/2,46$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_6 = 1,04$. Поэтому по шести датировкам (164,0 — 169,0 млн. лет) рассчитано среднее начало келловейского века: $165,7 \pm 0,8$ т млн. лет.

Оксфордский век. Известны девять датировок: 149,8 (3), 150,0 (66), 153,3 (57), 159,3 (31), 160,0 (39), 160,4 (74), 160,5 (9), 161,7 (28) и 163,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_9 = 163,0 - 149,8 = 13,2$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_9 = 160,8 \times 0,03405 = 5,5$ млн. лет) — в 2,41 раза ($K_9 = 13,2/5,5 = 2,41$). После исключения наиболее резко выделяющихся двух датировок (149,8 и 150,0 млн. лет) получаем размах ($R_7 = 163,0 - 153,3 = 9,7$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 160,8 \cdot 0,03100 = 5,0$ млн.

лет) — в 1,95 раза ($K_7 = 9,7/5,0 = 1,95$). Здесь одна из оценок (153,3 млн. лет) резко отличается от остальных шести, так как $r_7^1 = (163,0 - 153,3) / (159,3 - 153,3) = 0,619$ ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 153,3 млн. лет — одна датировка, 2) 159,3 — 163,0 млн. лет — шесть оценок. Предпочтительнее вторая основная группа, главным образом с новейшими (1982–1984 гг.) датировками, в то время как первая группа представлена устаревшей (1978 г.) оценкой. Во второй группе размах ($R_6 = 163,0 - 159,3 = 3,7$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 160,8 \cdot 0,02905 = 4,7$ млн. лет) в 1,35 раза ($K_6 = 3,7/4,7 = 1/1,26$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_6 = 1/1,26$. Поэтому по шести датировкам (159,3 — 163,0 млн. лет) рассчитано среднее начало оксфордского века: $160,8 \pm 0,6$ т млн. лет.

Кимериджский век. Изучены девять датировок: 140,0 (66), 145,8 (3), 148,2 (57), 151,0 (39), 153,3 (31), 154,3 (74), 155,0 (9), 156,0 (46) и 157,3 млн. лет (28). Здесь разность крайних оценок ($R_9 = 157,3 - 140,0 = 17,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_9 = 155,2 \times 0,03405 = 5,3$ млн. лет) в 3,27 раза ($K_9 = 17,3/5,3 = 3,27$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (140,0 млн. лет), находим, что размах ($R_8 = 157,3 - 145,8 = 11,5$ млн. лет) превышает ожидаемый ($\bar{R}_8 = 155,2 \cdot 0,03264 = 5,1$ млн. лет) уже только в 2,27 раза ($K_8 = 11,5/5,1 = 2,27$). После исключения еще двух устаревших (1975 и 1978 гг.) оценок (145,8 и 148,2 млн. лет) получаем размах ($R_6 = 157,3 - 151,0 = 6,3$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 155,2 \cdot 0,02905 = 4,5$ млн. лет) — всего в 1,40 раза ($K_6 = 6,3/4,5 = 1,40$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся и менее ценную датировку (151,0 млн. лет), то получим размах ($R_5 = 157,3 - 153,3 = 4,0$ млн. лет) несколько меньше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 155,2 \cdot 0,02667 = 4,1$ млн. лет) — в 1,03 раза ($K_5 = 4,0/4,1 = 1/1,03$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_5 = 1/1,03$. Поэтому по пяти оценкам (153,3 — 157,3 млн. лет) рассчитано среднее начало кимериджского века: $155,2 \pm 0,7$ т млн. лет.

Титонский век. Известны девять датировок: 135,0 (66), 139,8 (3), 143,2 (57), 146,0 (39), 148,2 (29), 148,9 (9), 149,2 (74), 149,3 (28) и 150,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_9 = 150,0 - 135,0 = 15,0$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_9 = 148,6 \times 0,03405 = 5,1$ млн. лет) в 2,96 раза ($K_9 = 15,0/5,1 = 2,96$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (135,0 млн. лет) получаем размах ($R_8 = 150,0 - 139,8 = 10,2$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 148,6 \cdot 0,03264 = 4,9$ млн. лет), но уже в 2,10 раза ($K_8 = 10,2/4,9 = 2,10$). Исключив еще наиболее резко выделяющуюся устаревшую (1975 г.) оценку (139,8 млн. лет), определяем, что размах ($R_7 = 150,0 - 143,2 = 6,8$ млн. лет) больше ожидаемого в ($\bar{R}_7 = 148,6 \times 0,03100 = 4,6$ млн. лет) всего в 1,48 раза ($K_7 = 6,8/4,6 = 1,48$). После

исключения еще одной наиболее резко выделяющейся устаревшей (1978 г.) датировки (143,1 млн. лет) находим, что размах ($R_6 = 150,0 - 146,0 = 4,0$ млн. лет) немного меньше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 148,6 \times 0,02905 = 4,3$ млн. лет) в 1,08 раза ($K_6 = 4,0/4,3 = 1/1,08$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_6 = 1/1,08$. Поэтому по шести оценкам (146,0 – 150,0 млн. лет) рассчитано среднее начало титонского века: $148,6 \pm 0,6$ т млн. лет.

МЕЛОВОЙ ПЕРИОД. Ранняя эпоха. Берриасский век. Опубликовано 33 датировки: 130,0 (66), 131,8 (3), 132,8 (26), 133,8 (1, 2, 20, 21, 34), 134,8 (27), 135,0 (12), 136,7 (11, 13), 137,1 (36, 50), 138,2 (9), 138,3 (35, 38, 51, 54, 55, 56, 74, 77), 138,8 (16, 57), 139,3 (29, 32), 140,2 (58), 141,0 (39), 143,0 (28), 143,4 (48,73) и 144,0 млн. лет (46). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервалах 133,9 – 136,6 млн. лет (две датировки против ожидаемых восьми, $Q < 5\%$) и 139,4 – 142,9 млн. лет (две оценки вместо ожидаемых восьми, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 130,0 – 133,8 млн. лет – восемь датировок, 2) 134,8 – 141,0 млн. лет – 21 оценка, 3) 143,0 – 144,0 млн. лет – четыре датировки. Предпочтительнее вторая основная группа, где большинство оценок опубликовано в 1973 – 1984 гг., в то время как датировки первой и третьей групп – относятся, главным образом, к 1964 – 1968 гг. Во второй группе разность крайних датировок ($R_{21} = 141,7 - 134,8 = 6,2$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($\bar{R}_{21} = 138,2 \cdot 0,04331 = 6,0$ млн. лет) в 1,04 раза ($K_{21} = 6,2/6,0 = 1,04$). Если исключить одну наиболее резко выделяющуюся оценку (134,8 млн. лет), найдем, что размах ($R_{20} = 141,0 - 135,0 = 6,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_{20} = 138,2 \times 0,04281 = 5,9$ млн. лет) всего в 1,01 раза ($K_{20} = 6,0/5,9 = 1,01$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся датировки (135,0 млн. лет) получаем размах ($R_{19} = 141,0 - 136,7 = 4,3$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_{19} = 138,2 \cdot 0,04228 = 5,8$ млн. лет) в 1,36 раза ($K_{19} = 4,3/5,8 = 1/1,36$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_{20} = 1,01$. Поэтому по двадцати оценкам (135,0 – 141,0 млн. лет) рассчитано среднее начало берриасского века: $138,2 \pm 0,3$ т млн. лет.

Валанжинский век. Известны 13 датировок: 126,0 (66), 126,8 (3), 130,0 (39, 57), 132,1 (77), 133,1 (32), 133,4 (9), 134,2 (50), 135,6 (28), 135,7 (35), 138,0 (46), 140,1 (58) и 140,3 млн. лет (73). Здесь разность крайних оценок ($R_{13} = 140,3 - 126,0 = 14,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_{13} = 134,0 \cdot 0,03824 = 5,1$ млн. лет) – в 2,79 раза ($K_{13} = 14,3/5,1 = 2,79$). После исключения четырех наиболее резко выделяющихся, главным образом устаревших (1969 – 1978 гг.) датировок (126,0, 126,8, 140,1 и 140,3 млн. лет) находим, что размах ($R_9 = 138,0 - 130,0 = 8,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_9 = 134,0 \cdot 0,03405 = 4,6$ млн. лет) только в 1,75 раза ($K_9 = 8,0/4,6 = 1,75$). Исключив

еще две наиболее резко выделяющиеся оценки (130,0 млн. лет), находим, что размах ($R_7 = 138,0 - 132,1 = 5,9$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 134,0 \cdot 0,03100 = 4,2$ млн. лет) всего в 1,42 раза ($K_7 = 5,9/4,2 = 1,42$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (138,0 млн. лет), то получим размах ($R_6 = 135,7 - 132,1 = 3,6$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 134,0 \cdot 0,02905 = 3,9$ млн. лет) в 1,08 раза ($K_6 = 3,6/3,9 = 1/1,08$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_6 = 1/1,08$. Поэтому по шести оценкам (132,1 – 135,7 млн. лет) рассчитано среднее начало валанжинского века: $134,0 \pm 0,6$ т млн. лет.

Готеривский век. Установлены 15 датировок: 119,0 (66), 120,4 (36), 121,8 (3), 124,0 (39, 57), 125,0 (77), 126,4 (9), 127,0 (32, 34), 129,0 (50), 130,7 (28), 131,0 (46), 133,1 (35), 134,2 (73) и 138,1 млн. лет (58). Здесь разность крайних значений ($R_{15} = 138,1 - 119,0 = 19,1$ млн. лет) гораздо больше ожидаемой ($\bar{R}_{15} = 125,6 \cdot 0,03980 = 5,0$ млн. лет) в 3,82 раза ($K_{15} = 19,1/5,0 = 3,82$). После исключения шести наиболее резко выделяющихся, главным образом, устаревших (1969 – 1975 гг.) оценок (119,0, 120,4, 121,8, 133,1, 134,2 и 138,1 млн. лет) получаем размах ($R_9 = 131,0 - 124,0 = 7,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($R_9 = 125,0 \cdot 0,03405 = 4,3$ млн. лет) лишь в 1,64 раза ($K_9 = 7,0/4,3 = 1,64$). Исключив еще две наиболее резко выделяющиеся датировки (130,7 и 131,0 млн. лет), найдем, что размах ($R_7 = 129,0 - 124,0 = 5,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 125,6 \cdot 0,03100 = 3,9$ млн. лет) только в 1,28 раза ($K_7 = 5,0/3,9 = 1,28$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся оценки (129,0 млн. лет) получаем размах ($R_6 = 127,0 - 124,0 = 3,0$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 125,6 \cdot 0,02905 = 3,6$ млн. лет) в 1,22 раза ($K_6 = 3,0/3,6 = 1/1,22$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_6 = 1/1,22$; поэтому по шести датировкам (124,0 – 127,0 млн. лет) рассчитано среднее начало готеривского века: $125,6 \pm 0,6$ т млн. лет.

Барремский век. Опубликованы 14 датировок: 113,8 (36), 114,0 (66), 117,8 (3, 57), 118,0 (39), 118,8 (77), 119,3 (9), 120,9 (32), 121,1 (34), 123,9 (50), 125,0 (46), 126,8 (28), 129,0 (73) и 130,6 млн. лет (35). Их статистика противоречит ($Q < 5\%$) нормальному распределению, главным образом, из-за дефицита оценок в интервале 121,2 – 124,9 млн. лет (одна датировка против ожидаемых четырех, $Q < 10\%$) и высокой их плотности в интервале 117,8 – 121,1 млн. лет (семь оценок вместо ожидаемых трех, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 113,8 – 121,1 млн. лет – девять датировок, 2) 123,9 – 130,6 млн. лет – пять оценок. Предпочтительнее первая основная группа с тремя датировками 80-х годов, в то время как во второй группе всего одна такая оценка (9). В первой группе разность крайних датировок ($R_9 = 121,1 - 113,9 = 7,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_9 =$

$= 119,1 \cdot 0,03405 = 4,1$ млн. лет) в 1,80 раза ($K_9 = 7,3/4,1 = 1,80$). После исключения двух наиболее резко выделяющихся оценок (113,8 и 114,0 млн. лет) получаем размах ($R_7 = 121,1 - 117,8 = 3,3$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 119,1 \cdot 0,03100 = 3,7$ млн. лет) всего в 1,12 раза ($K_7 = 3,3/3,7 = 1/1,12$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_7 = 1/1,12$. Поэтому по семи датировкам (117,8 – 121,1 млн. лет) рассчитано среднее начало барремского века: $119,1 \pm 0,6 t$ млн. лет.

Аптский век. Известны 18 датировок: 107,7 (36), 110,8 (57), 111,7 (77), 111,9 (3), 112,0 (39, 66), 113,0 (9), 114,7 (32), 114,8 (20, 34), 117,8 (50), 119,0 (46), 122,6 (28), 125,0 (73), 128,0 (35, 38, 48) и 130,1 млн. лет (29). Их статистика противоречит нормальному распределению ($Q < 5\%$) из-за дефицита оценок в интервале 114,9 – 127,8 млн. лет (четыре датировки) вместо ожидаемых десяти, $Q < 5\%$, что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 107,7 – 119,0 млн. лет – 12 оценок, 2) 122,6 – 130,1 млн. лет – шесть датировок. Предпочтительнее первая, основная группа с новейшими (1976 – 1984 гг.) оценками, в то время как во второй группе преобладают устаревшие (1967 – 1969 гг.) данные. В первой группе разность крайних датировок ($R_{12} = 119,0 - 107,7 = 11/3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($R_{12} = 112,9 \cdot 0,03736 = 4,2$ млн. лет) в 2,68 раза ($K_{12} = 11,3/4,2 = 2,68$). После исключения наиболее резко выделяющейся, устаревшей (1976 г.) датировки (107,7 млн. лет) получаем размах ($R_{11} = 119,0 - 110,8 = 8,2$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_{11} = 112,9 \times 0,03637 = 4,1$ млн. лет) в 2,00 раза ($K_{11} = 8,2/4,1 = 2,00$). Исключив еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (119,0 млн. лет), находим, что размах ($R_{10} = 117,8 - 110,8 = 7,0$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_{10} = 112,9 \cdot 0,03528 = 4,0$ млн. лет) в 1,76 раза ($K_{10} = 7,0/4,0 = 1,76$). После исключения еще одной наиболее резко выделяющейся датировки (117,8 млн. лет) получим размах ($R_9 = 114,8 - 110,8 = 4,0$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_9 = 112,9 \cdot 0,03405 = 3,8$ млн. лет) в 1,04 раза ($K_9 = 4,0/3,8 = 1,04$). Если же исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (110,8 млн. лет), то получим размах ($R_8 = 114,8 - 111,7 = 3,1$ млн. лет) меньше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 112,9 \cdot 0,03264 = 3,7$ млн. лет) в 1,19 раза ($K_8 = 3,1/3,7 = 1/1,19$). Из пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_9 = 1,04$. Поэтому по девяти датировкам (110,8 – 114,8 млн. лет) было рассчитано среднее начало аптского века: $112,9 \pm 0,5 t$ млн. лет.

Альбский век. Установлено 23 датировки: 103,7 (36), 104,9 (3), 105,7 (57), 106,0 (9, 39), 106,6 (47, 77), 107,0 (66), 107,5 (20), 108,6 (32), 109,4 (34), 110,6 (50), 111,8 (53), 112,7 (48), 113,0 (46), 116,8 (28), 120,9 (73), 122,7 (54, 55), 122,9 (29, 35, 38) и 124,9 млн. лет (58). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за

резкого дефицита оценок в интервале 113,1 – 120,7 млн. лет (всего одна датировка против ожидаемых восьми, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 103,7 – 113,0 млн. лет – 15 оценок, 2) 116,8 – 124,9 млн. лет – восемь датировок. Предпочтительнее первая, основная группа, главным образом с новейшими (1976 – 1984 гг.) оценками, в то время как во второй преобладают устаревшие (1960 – 1969 гг.) данные. В первой группе разность крайних датировок ($R_{15} = 113,0 - 103,7 = 9,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_{15} = 106,0 \cdot 0,0390 = 4,2$ млн. лет) в 2,20 раза ($K_{15} = 9,3/4,2 = 2,20$). Статистика первой группы не противоречит нормальному распределению, хотя в интервале 107,6 – 110,4 млн. лет наблюдается незначительный дефицит датировок (две вместо ожидаемых шести, $Q < 20\%$). Если рассматривать только самые новейшие оценки 80-х годов, то обнаруживается, что одна из них (113,0 млн. лет) резко отличается от остальных трех (106,0 – 107,0 млн. лет), так как $r_4^1 = (113,0 - 107,0) / (113,0 - 106,0) = 0,857$ ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии в первой группе двух подгрупп: 1.1) 103,7 – 109,4 млн. лет – 11 датировок, 1.2) 110,6 – 113,0 млн. лет – четыре оценки. (Интервал "неопределенности" по датировкам 80-х годов – 107,0 – 113,0 млн. лет – условно разделен пополам). Предпочтительнее первая, основная подгруппа, включающая три оценки 80-х годов, в то время как во второй подгруппе всего одна такая датировка (1982 г.). В первой подгруппе разность крайних оценок ($R_{11} = 109,4 - 103,7 = 5,7$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_{11} = 106,0 \cdot 0,03637 = 3,9$ млн. лет) в 1,48 раза ($K_{11} = 5,7/3,9 = 1,48$). После исключения двух наиболее резко выделяющихся устаревших (1964 – 1971 гг.) датировок (108,6 и 109,4 млн. лет) находим, что размах ($R_9 = 107,5 - 103,7 = 3,8$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_9 = 106,0 \cdot 0,03405 = 3,6$ млн. лет) всего в 1,05 раза ($K_9 = 3,8/3,6 = 1,05$). Если же исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (103,7 млн. лет), то получим размах ($R_8 = 107,5 - 104,9 = 2,6$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 106,0 \cdot 0,03264 = 3,5$ млн. лет) в 1,33 раза ($K_8 = 2,6/3,5 = 1/1,33$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_9 = 1,09$. Поэтому по девяти датировкам (103,7 – 107,5 млн. лет) и рассчитано среднее начало альбского века: $106,0 \pm 0,4$ т млн. лет.

Поздняя эпоха. Сеноманский век. Ранняя фаза. Опубликовано 37 датировок (рис. 7): 94,0 (28), 95,0 (53, 66), 95,18 (9), 95,3 (4), 95,5 (16, 36, 61), 95,6 (8), 96,0 (6, 7), 96,3 (5, 52), 96,6 (31), 97,4 (56), 97,5 (46), 97,7 (17, 25), 99,9 (3), 100,0 (39), 101,7 (60), 102,0 (76), 102,5 (32, 47, 48, 49, 50, 69), 102,6 (1, 20, 67), 103,5 (71), 107,5 (13), 112,6 (55) и 112,7 млн. лет (35, 38, 73). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервалах 97,8 – 101,6 млн. лет (две датировки вместо ожидаемых десяти, $Q < 2,5\%$) и 103,6 – 112,5 млн. лет (одна оценка против ожидаемых де-

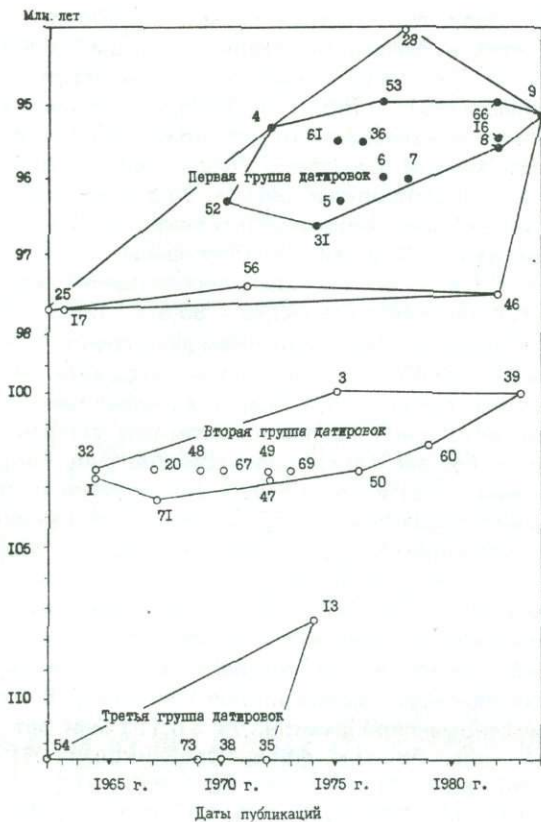


Рис. 7. Датировки начала сеноманского века в 37 шкалах. Цифры соответствуют номерам в списке шкал. Черными кружками показаны "хорошие" оценки, светлыми — "плохие". Три группы датировок. В первой группе — три подгруппы, из них вторая с "хорошими" оценками, по которым рассчитано среднее начало сеноманского века: $95,88 \pm 0,18$ т млн. лет

сяти, $Q < 1$ %), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 94,0 — 97,7 млн. лет — 18 оценок, 2) 99,9 — 103,5 млн. лет — 14 датировок, 3) 107,5 — 112,7 млн. лет — пять оценок. Предпочтительнее первая группа: большинство датировок в ней опубликовано в 1977 — 1984 гг., в то время как во второй и третьей группах основные публикации относятся в 1959 — 1971 гг. Статистика оценок первой группы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервале 96,1 — 97,3 млн. лет (одна оценка против ожидаемых шести, $Q < 5$ %), что свидетельствует о наличии в первой группе двух подгрупп: 1.1) 94,0 — 96,6 млн. лет — 14 датировок,

1.2) 97,4 – 97,7 млн. лет – четыре оценки. Предпочтительнее первая, основная подгруппа, включающая главным образом новейшие датировки (1978 – 1984 гг.), в то время как во второй подгруппе преобладают устаревшие данные (1961 – 1962 гг.). Находим разность крайних оценок из оставшихся четырнадцати ($\bar{R}_{14} = 96,6 - 94,0 = 2,6$ млн. лет), которая оказалась меньше ожидаемой ($R_{14} = 95,56 \cdot 0,03905 = 3,7$ млн. лет). Поэтому по 14 датировкам (94,0 – 96,6 млн. лет) и рассчитано среднее начало ранней фазы сеноманского века: $95,56 \pm 0,15$ т млн. лет.

Позднесеноманская фаза. Опубликованы три датировки: 85,8 (7), 93,49 (9) и 93,5 млн. лет (8). Здесь первая оценка резко отличается от остальных двух, так как $r_{\frac{1}{3}} = (93,49 - 85,8) / (93,5 - 85,8) = 0,999$ ($Q < 0,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 85,8 млн. лет – одна датировка, 2) 93,49 – 93,5 млн. лет – две оценки. Предпочтительнее вторая, основная группа с новейшими датировками (1982 и 1984 гг.), в то время как первая группа представлена устаревшей оценкой (1978 г.). Изучение состава и мощности слоев биогенных пород, продуктов их растворения – лютитов, а также алевролитов и песчаников с горизонтально-микрослойчатой текстурой среди отложений верхнемеловой флишевой формации Новороссийского опорного разреза (НОВ) Северо-Западного Кавказа (СЗК) позволило выделить кванты седиментации, или элементарные циклиты 13-го класса, длительность образования которых оценивается геологическими секундами [8], и определить продолжительность веков и фаз позднего мела с учетом изотопных датировок и затменно-перигелиевых циклов (см. ниже). В итоге рассчитано начало поздне-сеноманской фазы: $93,74 \pm 0,11$ т млн. лет.

Туронский век. Ранняя фаза. Опубликована 31 датировка: 84,3 (7), 84,6 (6), 85,1 (5), 89,1 (4), 90,7 (56), 91,0 (28, 36, 46, 61, 66), 91,2 (52), 91,3 (8), 91,72 (9), 91,9 (3), 92,1 (55), 92,2 (48), 92,5 (31, 53, 60), 92,8 (17), 94,0 (39), 94,3 (49, 50), 96,3 (32, 69, 71), 96,7 (67), 97,4 (38), 99,3 (47), 102,5 (73) и 102,6 млн. лет (35). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицитов датировок в интервалах 85,2 – 89,0 млн. лет (одна оценка вместо ожидаемых восьми, $Q < 2,5\%$) и 94,4 – 96,2 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 84,3 – 85,1 млн. лет – три оценки, 2) 89,1 – 94,3 млн. лет – 20 датировок, 3) 96,3 – 102,6 млн. лет – восемь оценок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая главным образом новейшие датировки (1976 – 1984 гг.), в то время как в первой и третьей группах преобладают устаревшие данные (1964 – 1975 гг.). Статистика датировок второй группы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 92,9 – 93,8 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии во второй группе двух подгрупп: 2.1) 89,1 – 92,5 млн. лет – 17 оценок, 2.2) 92,8 – 94,3 млн. лет – три

датировки. Предпочтительнее основная, первая подгруппа с четырьмя самыми новейшими датировками 80-х годов, в то время как во второй подгруппе всего одна такая оценка. В первой подгруппе одна датировка (89,1 млн. лет) резко отличается от остальных шестнадцати, так как $r_{17}^1 = (90,7 - 89,1) / (92,8 - 89,1) = 0,432$ ($Q < 1\%$). Пренебрегаем этой устаревшей (1972 г.) оценкой. Разность крайних значений из остальных шестнадцати датировок ($R_{16} = 92,8 - 90,7 = 2,1$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{16} = 91,74 \cdot 0,04049 = 3,7$ млн. лет). Поэтому по шестнадцати оценкам (90,7 – 92,8 млн. лет) и рассчитано среднее начало ранней фазы туронского века: $91,65 \pm 0,18$ т млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа квантов седиментации, длительность образования которых оценивается геологически секундами (см. ниже), позволило уточнить начало ранней фазы туронского века: $91,63 \pm 0,07$ т млн. лет.

Позднетуронская фаза. Опубликованы четыре датировки: 83,2 (6, 7), 89,6 (8) и 90,35 млн. лет (9). Здесь разность крайних оценок ($R_4 = 90,35 - 83,2 = 7,15$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_4 = 90,36 \cdot 0,02360 = 2,1$ млн. лет) – в 3,35 раза ($K_4 = 7,15/2,1 = 3,35$). Поскольку все четыре датировки опубликованы одним и тем же автором, предпочтительнее новейшая (1984 г.) последняя оценка $90,35 \pm 0,13$ т млн. лет. С учетом квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе начало позднетуронской фазы: $90,27 \pm 0,05$ т млн. лет.

Коньякский век. Ранняя фаза. Опубликована 31 датировка: 81,8 (7), 82,5 (6), 85,6 (48), 86,6 (69), 86,7 (8), 86,9 (17), 87,1 (56), 87,2 (4), 87,5 (31, 36, 60), 87,9 (3), 88,0 (28, 39, 66), 88,2 (49, 50), 88,31 (9), 88,5 (46, 53, 61), 89,2 (43, 47), 90,0 (55), 90,2 (32, 52, 71), 90,8 (67), 91,2 (38) и 92,2 млн. лет (35, 73). Две первые оценки (81,8 и 82,5 млн. лет) резко отличаются от остальных 29, так как $r_{31}^2 = (85,6 - 81,8) / (92,2 - 81,8) = 0,365$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 81,8 – 82,5 млн. лет – две датировки, 2) 85,6 – 92,2 млн. лет – 29 оценок. Предпочтительнее вторая, основная группа, поскольку первая содержит две устаревшие датировки (1977 и 1978 гг.) одного и того же автора. Статистика датировок второй группы в интервале 88,6 – 89,9 млн. лет (две датировки вместо ожидаемых девяти, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии во второй группе двух подгрупп: 2.1) 85,6 – 89,2 млн. лет – 21 оценка, 2.2) 90,0 – 92,2 млн. лет – восемь датировок. Предпочтительнее первая подгруппа, где преобладают новейшие (1975 – 1984 гг.) датировки, в то время как во второй подгруппе – главным образом устаревшие (1961 – 1969 гг.) данные. Статистика датировок первой подгруппы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 87,6 – 87,8 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых трех, $Q < 10\%$). Заметно не соответствует нормальному распределению статистика пяти самых новейших оценок 80-х годов, одна из которых

(86,7 млн. лет) резко отличается от остальных четырех, так как $r_{13}^1 = (88,0 - 86,7) / (88,5 - 86,7) = 0,722$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух частей в первой подгруппе второй группы: 2.1.1) 85,6 – 87,6 млн. лет – девять датировок, 2.1.2) 87,9 – 89,2 млн. лет – 12 оценок. Предпочтительнее вторая, основная часть, главным образом с новейшими (1977 – 1984 гг.) датировками, в том числе с четырьмя самыми новейшими оценками 80-х годов, в то время как первая часть содержит в основном устаревшие (1969 – 1973 гг.) данные и только одну датировку 1982 г. Во второй части первой подгруппы второй группы две устаревшие (1966 и 1972 гг.) оценки (89,2 млн. лет) резко отличаются от остальных десяти, так как $r_{12}^2 = (89,2 - 88,5) / (89,2 - 87,9) = 0,538$ ($Q < 5\%$). Последними двумя устаревшими датировками пренебрегаем. В итоге по десяти оценкам (87,9 – 88,5 млн. лет) рассчитано среднее начало ранней фазы коньякского века: $88,24 \pm 0,08$ т млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа квантов седиментации позволило уточнить начало ранней фазы коньякского века: $88,26 \pm 0,03$ т млн. лет.

Позднеконьякская фаза. Известны четыре датировки: 80,8 (6), 7), 86,7 (8) и 87,11 млн. лет (9); все они одного и того же автора. Поэтому предпочтительнее последняя, новейшая (1984 г.) оценка: $87,11 \pm 0,14$ т млн. лет. Определение квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе позволило уточнить начало позднеконьякской фазы: $87,08 \pm 0,05$ т млн. лет.

Сантонский век. Ранняя фаза (рис. 8). Известна 31 датировка: 79,9 (7), 80,8 (8), 82,0 (39, 48), 83,0 (49, 56), 83,1 (17), 83,4 (31, 60), 83,6 (69), 84,0 (67), 84,1 (32, 50, 71), 84,9 (3), 85,4 (4), 85,5 (8), 86,0 (28, 38, 55, 66), 86,1 (47), 86,15 (9), 86,4 (36), 86,6 (52), 87,0 (53), 87,1 (35, 43), 87,5 (46, 61) и 92,1 млн. лет (54). Последняя из них (92,1 млн. лет) резко отличается от остальных тридцати, так как $r_{31}^1 = (92,1 - 87,5) / (92,1 - 79,9) = 0,377$ ($Q < 5\%$); поэтому эту устаревшую (1960 г) оценку исключаем из анализа. Статистика остальных 30 датировок противоречит нормальному распределению из-за дефицита последних в интервале 84,2 – 85,3 млн. лет (одна оценка против ожидаемых восьми, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 79,9 – 84,1 млн. лет – 14 датировок, 2) 84,9 – 87,5 млн. лет – 16 оценок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая главным образом новейшие (1975 – 1984 гг.) датировки, в то время как в первой группе преобладают устаревшие (1964 – 1973 гг.) данные. Во второй группе разность крайних оценок ($R_{16} = 87,5 - 84,9 = 2,6$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{16} = 86,15 \cdot 0,04049 = 3,5$ млн. лет). Поэтому по 16 датировкам (84,9 – 87,5 млн. лет) второй группы и рассчитано среднее начало ранней фазы сантонского века: $86,33 \pm 0,19$ т млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа квантов седиментации, длительность образования которых измеряет-



Рис. 8. Известняковый субфлиш верхнего коньяка (1) и карбонатная формация нижнего сантона (2). Андреевский разрез Новороссийского района Северо-Западного Кавказа

ся геологическими секундами, позволило уточнить начало ранней фазы сантонского века: $86,26 \pm 0,07$ т млн. лет.

Позднесантонская фаза. Установлены четыре датировки: 79,0 (6, 7), 84,4 (8) и 84,61 млн. лет (9), все одного и того же автора. Поэтому предпочтительнее последняя новейшая (1984 г.) оценка: $84,61 \pm 0,22$ т млн. лет. Определение квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе позволило уточнить начало позднесантонской фазы: $84,61 \pm 0,08$ т млн. лет.

Кампанский век. Ранняя фаза. Установлены 33 датировки: 76,0 (39), 76,9 (69, 71), 77,9 (32, 49), 78,1 (7), 78,2 (67), 78,4 (48), 78,9 (5, 6), 79,2 (17), 79,3 (60), 79,5 (56), 80,0 (38, 50) 81,0 (28), 81,1 (1), 81,3 (31), 81,9 (3), 82,0 (35, 47), 82,4 (8), 82,58 (9), 82,9 (55), 83,0 (46, 66), 83,1 (20), 83,4 (36, 61), 83,6 (53), 83,7 (4), 84,6 (43) и 84,7 млн. лет (52). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 80,1–80,9 млн. лет (нет ни одной датировки вместо ожидаемых пяти, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 76,0 – 80,0 млн. лет – 15 оценок, 2) 81,0 – 84,7 млн. лет – 18 датировок. Предпочтительнее вторая, основная группа, в которой преобладают новейшие (1975–1984 гг.) оценки, в то время как первая группа представлена главным образом устаревшими данными (1962–1971 гг.). Во второй группе разность крайних датировок ($R_{18} = 84,7 - 81,0 = 3,7$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($R_{18} = 82,76 \cdot 0,04172 = 3,5$ млн. лет) в 1,07 раза ($K_{18} = 3,7/3,5 = 1,07$). После исключения наиболее резко выделяющейся оценки (84,7 млн. лет) получаем размах ($R_{17} = 84,6 - 81,0 = 3,6$ млн. лет) также немного больше ожидаемого ($R_{17} = 82,76 \cdot 0,04113 = 3,4$ млн. лет) – в 1,06 раза ($K_{17} = 3,6/3,4 = 1,07$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся датировку (84,6 млн. лет), то получим размах ($R_{16} = 83,7 - 81,0 = 2,7$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($R_{16} = 82,76 \cdot 0,04049 = 3,4$ млн. лет) – в 1,24 раза ($K_{16} = 2,7/3,4 = 1/1,24$). Из трех величин коэффициента K меньше всего отличается от единицы $K_{17} = 1,06$. Поэтому по 17 оценкам (81,0 – 84,6 млн. лет) рассчитано среднее начало ранней фазы кампанского века: $82,65 \pm 0,25$ т млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа квантов седиментации, длительность образования которых измеряется геологическими секундами, позволило уточнить начало ранней фазы кампанского века: $82,61 \pm 0,09$ т млн. лет.

Позднекампанская фаза. Опубликованы пять датировок: 73,1 (6, 7), 74,5 (8), 76,10 (9) и 79,8 млн. лет (36). Первые четыре оценки – одного автора, поэтому выбираем последнюю, самую новейшую (1984 г.) из них (76,10 млн. лет). Разность двух датировок ($R_2 = 79,8 - 76,10 = 3,7$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($R_2 = 79,03 \cdot 0,01293 = 1,0$ млн. лет) в 3,62 раза ($K_2 = 3,7/1,0 = 3,62$). Кроме того, автором пересмотрен геологический возраст ореховской и пенайской свит. В нас-

тоящее время они относятся к позднему кампану по остаткам фауны, обнаруженной в их аналогах на Юго-Восточном Кавказе — бахшилинской и атачайской свитах. Поэтому предпочтительнее последняя датировка: $79,8 \pm 0,9t$ млн. лет, где $0,9 = 79,8 \cdot 0,0115$ рассчитано с учетом среднеквадратичной ошибки среди "хороших" датировок фанерозоя $\sigma_0 = 1,15\%$. С учетом квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа начало позднекампанской фазы: $79,96 \pm 0,09t$ млн. лет.

Маастрихтский век. Ранняя фаза. Известны 33 датировки (рис. 9): 68,5 (39), 69,9 (7, 53), 70,0 (28), 70,6 (6), 70,76 (9), 70,9 (3), 71,0 (8), 71,2 (60), 71,3 (20, 67), 71,7 (5, 32, 35, 36, 48, 49, 50, 61, 69, 71), 72,0 (66), 72,1 (52), 72,2 (31), 72,7 (4), 72,8 (38, 43), 73,0 (6), 73,7 (55), 73,8 (47, 56), 75,2 (17) и 76,2 млн. лет (24). Из них две последние устаревшие (1962 г и 1972 гг.) оценки резко отличаются от остальных тридцати одной, так как $r_{33}^2 = (76,2 - 73,8) / (76,2 - 68,5) = 0,312$ ($Q < 5\%$). Поэтому они исключены из анализа. Из ос-

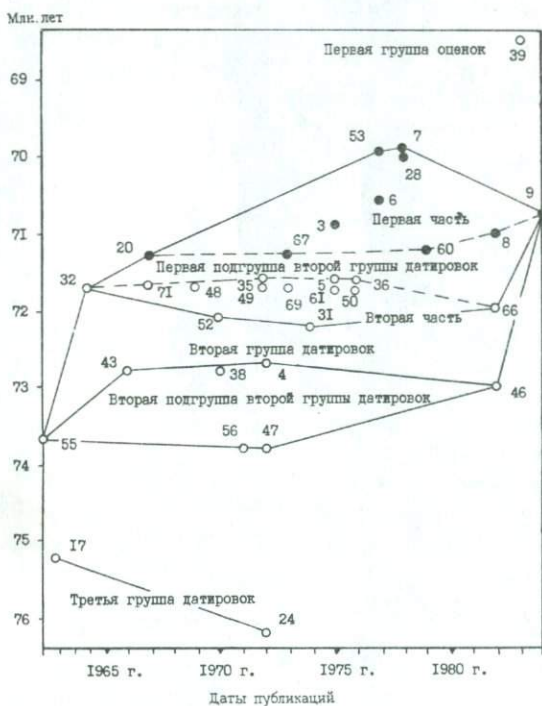
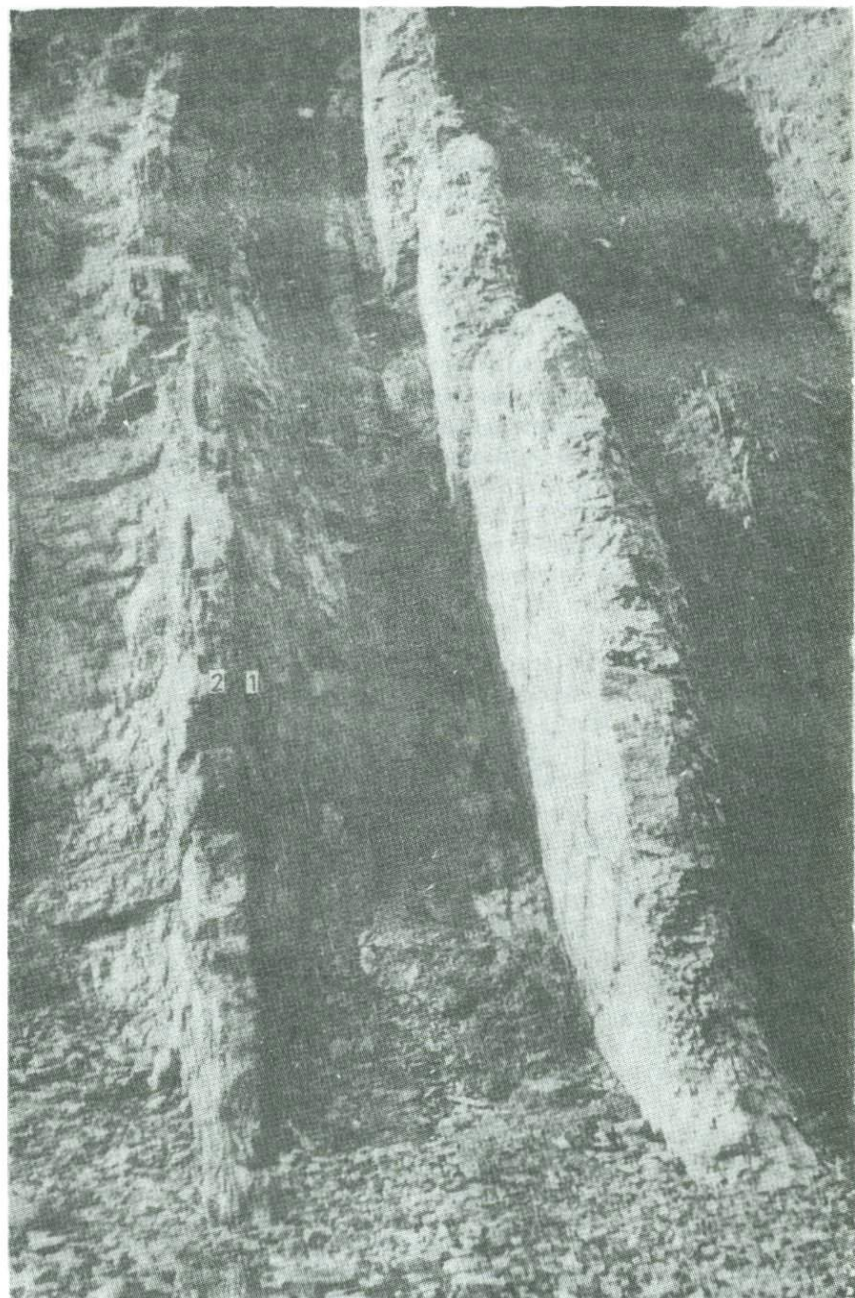


Рис. 9. Датировка начала маастрихтского века в 33 шкалах. Обозначения те же, что и на рис. 7. Три группы оценок. Во второй группе две подгруппы. В первой из них две части, в том числе первая с "хорошими" датировками, по которым рассчитано среднее начало маастрихтского века: $70,69 \pm 0,18t$ млн. лет.



гавшихся тридцати одной датировки одна (68,5 млн. лет) также резко отличается от остальных тридцати, так как $r_{31}^1 = (69,9 - 68,5) / (73,8 - 68,5) = 0,264$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 68,5 млн. лет — одна оценка, 2) 69,9 — 73,8 млн. лет — тридцать датировок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая пять самых новейших оценок 80-х годов, в то время как в первой группе одна такая датировка. Статистика датировок второй группы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 71,8 — 72,6 млн. лет (три датировки против ожидаемых десяти, $Q < 2,5\%$), что свидетельствует о наличии во второй группе двух подгрупп: 2.1) 69,9 — 72,2 млн. лет — 23 оценки, 2) 72,7 — 73,8 млн. лет — семь датировок. Предпочтительнее первая, основная подгруппа, включающая главным образом новейшие оценки (1975 — 1984 гг.), в то время как во второй подгруппе преобладают устаревшие (1961 — 1971 гг.) данные. Статистика датировок первой подгруппы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервале 71,4 — 71,6 млн. лет (нет ни одной оценки вместо ожидаемых четырех, $Q < 10\%$) и повышенной плотности в интервале 71,7 — 72,2 млн. лет (13 датировок против ожидаемых пяти, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух частей в первой подгруппе второй группы: 2.1.1) 69,9 — 71,3 млн. лет — десять оценок, 2.1.2) 71,7 — 72,2 млн. лет — 13 датировок. Предпочтительнее первая часть, включающая главным образом новейшие (1977 — 1984 гг.) датировки, в то время как во второй части преобладают устаревшие (1967 — 1972 гг.) данные. В первой части первой подгруппы второй группы разность крайних оценок ($R_{10} = 71,3 - 69,9 = 1,4$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{10} = 70,68 \cdot 0,03528 = 2,5$ млн. лет) в 1,78 раза ($K_{10} = 1,4/2,5 = 1/1,78$). Поэтому по десяти датировкам (69,9 — 72,0 млн. лет) рассчитано среднее начало ранней фазы маастрихтского века: $70,88 \pm 0,25$ т млн. лет. С учетом квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе уточнено среднее начало ранней фазы маастрихтского века: $70,90 \pm 0,09$ т млн. лет.

Позднемаастрихтская фаза (рис. 10). Известны четыре датировки: 67,77 (9), 67,9 (7), 68,4 (6) и 69,9 млн. лет (8); все они одного автора. Поэтому предпочтительнее новейшая (1984 г.) первая оценка: $67,66 \pm 0,18$ т млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа квантов седиментации позволило уточнить начало позднемаастрихтской фазы: $67,89 \pm 0,07$ т млн. лет.

Рис. 10. Биогенный ортофлиш верхнелихтеровской подсвиты нижнего маастрихта (1) и тонкий ортофлиш нижневасильевской подсвиты верхнего маастрихта (2). Западно-Озерекинский разрез Новороссийского района Северо-Западного Кавказа



Рис. 11. Среднемергельный грубый ортофлиш верхнесегуревской подсвиты верхнего маастрихта (1) и очень слабомергельный тонкий парафлиш подсвиты сукко нижнего дания (2). На границе подсвит перерыв седиментации продолжительностью около 1 млн. лет. Западно-Озерейкинский разрез Новороссийского района Северо-Западного Кавказа

Датский век. Ранняя фаза (рис. 11). Опубликовано 48 датировок (рис. 12). 64,0 (28), 64,5 (55), 64,6 (43), 64,8 (7), 65,0 (16, 39, 46, 66), 65,1 (33, 53, 63, 68), 65,6 (5, 36, 61, 71), 65,8 (4), 66,09 (9), 66,1 (31, 32, 44, 56, 60, 65, 72), 66,5 (70), 66,6 (18, 30, 35, 40, 47, 48, 49, 50, 52, 62, 64, 69, 74), 66,7 (38), 67,9 (3), 68,4 (8, 20), 69,4 (24), 71,3 (17) и 71,6 млн. лет (51, 54). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервалах 66,8 – 67,6 млн. лет (нет ни одной датировки вместо ожидаемых девяти, $Q < 0,5\%$) и в интервале 69,5 – 71,2 млн. лет (одна оценка против ожидаемых шести, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 64,0 – 66,7 млн. лет – сорок датировок, 2) 67,6 – 69,4 млн. лет – пять оценок, 3) 71,3 – 71,6 млн. лет – три датировки. Предпочтительнее первая, основная группа, включающая главным образом новейшие (1975 – 1984 гг.) оценки, в то время как во второй и третьей группах преобладают устаревшие данные (1959 – 1967 гг.). По 40 датировкам первой группы (64,0 – 66,7 млн. лет) рассчитано среднее начало ранней фазы датского века: $65,86 \pm 0,12 t$ млн. лет. Определение в Новороссийском опорном разрезе квантов седиментации позволило уточнить начало ранней фазы датского века: $65,88 \pm 0,05 t$ млн. лет.

Рис. 12. Датировки начала датского века в 48 шкалах. Обозначения те же, что и на рис. 7. Три группы оценок. В первой группе две подгруппы. Вторая часть первой подгруппы представлена девятью "хорошими" датировками, по которым рассчитано среднее начало века: $65,02 \pm 0,03 t$ млн. лет



Позднедатская фаза. Известны четыре датировки: 63,5 (6, 7), 65,24 (9) и 67,7 млн. лет (8). Здесь разность крайних оценок ($R_4 = 67,7 - 63,5 = 4,2$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_4 = 64,18 \cdot 0,02360 = 1,5$ млн. лет) — в 2,78 раза ($K_4 = 4,2/1,5 = 2,78$). После исключения наиболее резко выделяющейся датировки (67,7 млн. лет) получаем размах ($R_3 = 65,24 - 63,5 = 2,74$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_3 = 64,18 \cdot 0,01940 = 1,24$ млн. лет) — в 2,20 раза ($K_3 = 2,74/1,24 = 2,20$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_3 = 2,20$. Поэтому по первым трем оценкам (63,5 — 65,24 млн. лет) рассчитано среднее начало позднедатской фазы: $64,08 \pm \pm 0,65$ т млн. лет. С учетом квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа начало позднедатской фазы: $64,75 \pm 0,10$ т млн. лет.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭРА

ПАЛЕОГЕНОВЫЙ ПЕРИОД. Палеоценовая эпоха. Монтский век. Опубликованы 24 датировки: 58,2 (4), 60,5 (6, 7), 61,5 (5, 39), 62,5 (72), 63,07 (9), 63,5 (1, 23), 65,0 (12, 13), 65,5 (20, 21, 26, 34), 65,7 (8), 66,0 (3), 66,4 (24, 27), 66,5 (70) и 68,4 млн. лет (11, 17, 22, 25). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервалах 63,6 — 64,9 млн. лет (нет ни одной датировки вместо ожидаемых пяти, $Q < 5\%$) и 66,6 — 68,3 млн. лет (нет ни одной оценки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 58,2 — 63,5 млн. лет — девять датировок, 2) 65,0 — 66,5 млн. лет — 11 оценок, 3) 68,4 млн. лет — четыре датировки. Предпочтительнее первая группа, включающая главным образом новейшие (1975 — 1984 гг.) оценки, в то время как во второй и третьей группах преобладают устаревшие данные (1960 — 1972 гг.). Одна из устаревших (1972 г.) датировок первой группы (58,2 млн. лет) резко отличается от остальных восьми, так как $r_9^1 = (60,5 - 58,2) / (63,5 - 58,2) = 0,434$ ($Q < 5\%$), в связи с чем она исключена из анализа. Разность крайних из восьми оценок ($R_8 = 63,5 - 61,5 = 3,0$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_8 = 62,00 \cdot 0,03264 = 2,0$ млн. лет) в 1,48 раза ($K_8 = 3,0/2,0 = 1,48$). После исключения еще двух наиболее резко выделяющихся устаревших (1963 — 1964 гг.) датировок (63,5 млн. лет) находим, что размах ($R_6 = 63,06 - 60,5 = 2,56$ млн. лет) также больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 62,00 \cdot 0,02905 = 1,80$ млн. лет) в 1,42 раза ($K_6 = 2,56/1,80 = 1,42$). Исключив еще две наиболее резко выделяющихся устаревших (1977 и 1978 гг.) оценки (60,5 млн. лет), получим размах ($R_4 = 63,06 - 61,5 = 1,56$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_4 = 62,00 \cdot 0,02360 = 1,46$ млн. лет) — всего в 1,07 раза ($K_4 = 1,56/1,46 = 1,07$). Если исключить еще две наиболее резко выделяю-

щиеся датировки (61,5 млн. лет), то получим размах ($R_2 = 63,06 - 62,5 = 0,56$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 62,00 \times 0,01293 = 0,80$ млн. лет) — в 1,43 раза ($K_2 = 0,56/0,80 = 1/1,43$). Из четырех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_4 = 1,07$. Поэтому по четырем оценкам (61,5 — 63,06 млн. лет) рассчитано среднее начало монтского века: $62,14 \pm 0,42$ т. млн. лет. С учетом квантов седиментации в Новороссийском опорном разрезе начало монтского века: $61,99 \pm 0,16$ т. млн. лет.

Танетский век. Известна 21 датировка: 58,0 (39), 59,0 (62, 66, 72), 60,0 (40, 64, 74), 60,2 (46), 60,5 (38), 60,81 (9), 61,0 (44), 61,5 (30, 47), 62,0 (3), 62,6 (18), 63,5 (23), 65,5 (21, 26), 66,4 (24) и 68,4 млн. лет (11, 22). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервале 62,7 — 65,4 млн. лет (одна оценка против ожидаемых шести, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 58,0 — 63,5 млн. лет — 16 датировок, 2) 65,5 — 68,4 млн. лет — пять оценок. Предпочтительнее первая, основная группа, включающая главным образом новейшие датировки (1975 — 1984 гг.), в то время как во второй группе преобладают устаревшие данные (1960—1966 гг.). В первой группе разность крайних оценок ($R_{16} = 63,5 - 58,0 = 5,5$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_{16} = 59,83 \times 0,04049 = 2,4$ млн. лет) — в 2,27 раза ($K_{16} = 5,5/2,4 = 2,27$). Среди десяти датировок (58,0 — 60,81 млн. лет) первой подгруппы первой группы — четыре новейшие (1982 — 1984 гг.). Среди шести оценок (61,0 — 63,5 млн. лет) второй подгруппы нет ни одной новейшей (1982—1984 гг.), в связи с чем вторую подгруппу первой группы исключаем из анализа в первую очередь. Получаем размах ($R_{10} = 60,81 - 58,0 = 2,81$ млн. лет) немного больше ожидаемого ($\bar{R}_{10} = 59,83 \cdot 0,03528 = 2,11$ млн. лет) — в 1,33 раза ($K_{10} = 2,81/2,11 = 1,33$). Исключив наиболее резко выделяющуюся датировку (58,0 млн. лет), находим, что размах ($R_9 = 60,81 - 59,0 = 1,81$ млн. лет) немного меньше ожидаемого ($\bar{R}_9 = 59,83 \cdot 0,03405 = 2,04$ млн. лет) — всего в 1,13 раза ($K_9 = 1,81/2,04 = 1/1,13$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_9 = 1/1,13$. Поэтому по девяти оценкам (59,0 — 60,81 млн. лет) рассчитано среднее начало танетского века: $59,83 \pm 0,23$ т. млн. лет.

Эоценовая эпоха. Ипрский век. Установлено 29 датировок: 51,9 (63, 64), 52,9 (65), 53,0 (66), 53,3 (38), 54,4 (44), 54,5 (39), 54,8 (70), 54,9 (30, 40, 46, 47, 62, 68, 72, 74), 54,94 (9), 55,4 (18, 56), 56,3 (37, 54), 56,7 (21), 57,7 (23), 58,0 (3), 58,6 (13, 22, 24), 59,4 (55) и 61,4 млн. лет (51). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервалах 53,4 — 54,3 млн. лет (нет ни одной оценки вместо ожидаемых четырех, $Q \approx 5\%$) и 55,5 — 56,2 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 51,9 — 53,3 млн.

лет — пять оценок, 2) 54,4 — 55,4 млн. лет — 14 датировок, 3) 56,3 — 61,4 млн. лет — десять оценок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая в основном новейшие (1978 — 1984 гг.) датировки, в том числе четыре из пяти оценок 80-х годов. В третьей группе — преимущественно устаревшие (1959 — 1962 гг.) данные, в первой — в основном датировки одного автора (63, 64, 65, 66). Во второй группе разность крайних оценок ($R_{14} = 55,4 - 54,4 = 1,0$ млн. лет) меньше ожидаемой ($R_{14} = 54,9 \cdot 0,03905 = 2,1$ млн. лет). Поэтому по 14 датировкам (54,4—55,4 млн. лет) и рассчитано среднее начало ипрского века: $54,90 \pm 0,07$ т млн. лет.

Лютетский век. Опубликовано 20 датировок: 44,8 (63), 45,0 (66), 45,8 (65), 46,3 (64), 48,8 (68), 49,0 (39), 49,8 (38), 49,9 (44, 72), 50,0 (3), 50,24 (9), 50,3 (30, 40, 62, 74), 50,5 (46), 50,8 (18, 23), 53,3 (55) и 53,7 млн. лет (13). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервалах 46,4 — 48,7 млн. лет (нет датировок вместо ожидаемых шести, $Q < 2,5\%$) и 50,9 — 53,2 млн. лет (также нет ни одной оценки против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии трех групп: 1) 44,8 — 46,3 млн. лет — четыре датировки, 2) 48,8 — 50,8 млн. лет — 14 оценок, 3) 53,3 — 53,7 млн. лет — две датировки. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая главным образом новейшие (1975 — 1984 гг.) оценки, в том числе три из четырех датировок 80-х годов, в то время как в третьей группе — две устаревшие (1961 и 1974 гг.) оценки, а в первой — данные одного автора (63 — 66). Во второй группе две датировки (48,8 — 49,0 млн. лет) резко отличаются от остальных 12, так как $r_{14}^2 = (49,8 - 48,8) / (50,8 - 48,8) = 0,500$ ($Q < 5\%$), поэтому здесь можно выделить две подгруппы: 2.1) 48,8 — 49,0 млн. лет — две оценки, 2) 49,8 — 50,8 млн. лет — 12 датировок. Предпочтительнее вторая, основная подгруппа со сближенными преимущественно новейшими (1975 — 1984 гг.) оценками, в том числе с тремя из четырех самыми новейшими датировками 80-х годов, в то время как в первой подгруппе всего одна такая оценка, к тому же из шкалы, где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 4,3\%$ значительно больше, чем в трех новейших шкалах (9, 18, 46) — 1,4, 1,7 и 2,6% — второй подгруппы. Во второй подгруппе разность крайних датировок ($R_{12} = 50,8 - 49,8 = 1,0$ млн. лет) меньше ожидаемой ($\bar{R}_{12} = 50,26 \cdot 0,03736 = 1,9$ млн. лет). Поэтому по 12 оценкам (49,8 — 50,8 млн. лет) рассчитано среднее начало лютетского века: $50,26 \pm 0,10$ т млн. лет.

Бартонский век. Известно 19 датировок: 38,7 (63), 39,7 (65), 40,7 (64), 41,0 (66), 43,0 (23, 39), 43,8 (68), 44,0 (13), 44,1 (18, 30, 62), 44,24 (9), 44,8 (44, 72), 46,0 (3), 46,1 (55) и 46,2 млн. лет (38, 40, 74). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервале 41,1 — 42,9 млн. лет (нет ни одной оценки вместо ожидаемых пяти, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии

двух групп: 1) 38,7 – 41,0 млн. лет – четыре датировки, 2) 43,0 – 46,2 млн. лет – 15 оценок. Предпочтительнее вторая, основная группа с датировками разных авторов, в том числе с двумя новейшими оценками 80-х годов из шкал (9 и 18), в которых среднеквадратичные относительные ошибки соответственно равны 1,4 и 1,7 %, в среднем $\sigma_1 = 1,6$ %, в то время как в первой группе – оценки одного автора (63 – 66), а более новейшая из них (1982 г.) – из шкалы (66), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_2 = 4,5$ %. Поскольку $\sigma_1 < \sigma_2$, предпочтительнее вторая группа. Статистика датировок второй группы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 44,9 – 45,9 млн. лет (нет ни одной датировки против ожидаемых пяти, $Q < 5$ %), что свидетельствует о наличии двух подгрупп: 2.1) 43,0 – 44,8 млн. лет – десять оценок, 2.2) 46,0 – 46,2 млн. лет – пять датировок. Предпочтительнее первая подгруппа, включающая главным образом новейшие оценки (1978 – 1984 гг.), в то время как во второй подгруппе преобладают устаревшие (1961 – 1964 гг.) данные. В первой подгруппе разность крайних датировок ($R_{10} = 44,8 - 43,0 = 1,8$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($\bar{R}_{10} = 43,99 \cdot 0,03528 = 1,6$ млн. лет) всего в 1,16 раза ($K_{10} = 1,8/1,6 = 1,16$). Если исключить две наиболее резко выделяющиеся оценки (43,0 млн. лет), то получим размах ($R_8 = 44,8 - 43,8 = 1,0$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 43,99 \cdot 0,03264 = 1,44$ млн. лет) – в 1,44 раза ($K_8 = 1,0/1,44 = 1/1,44$). Из двух значений коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_{10} = 1,16$, поэтому по десяти датировкам (43,0 – 44,8 млн. лет) первой подгруппы второй группы и рассчитано среднее начало бартонского века: $43,99 \pm 0,22 \pm$ млн. лет.

Приабонский век. Установлено девять датировок: 37,0 (3, 66), 38,9 (64), 39,0 (56), 40,5 (18), 40,63 (9), 40,7 (44, 68) и 42,0 млн. лет (46). Здесь разность крайних оценок ($R_9 = 42,0 - 37,0 = 5,0$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($R_9 = 40,91 \cdot 0,03405 = 1,4$ млн. лет) – в 3,59 раза ($K_9 = 5,0/1,4 = 3,59$), при этом обе крайние датировки опубликованы в 1982 г.: в шкале (66) со средней квадратичной относительной ошибкой $\sigma_1 = 4,5$ %, и в шкале (46), где таковая равна $\sigma_2 = 2,6$ %. Поскольку $2,6 < 4,5$ %, предпочтительнее шкала (46). Поэтому исключаем менее ценную датировку (37,0 млн. лет) шкалы (66), а также вторую такую же оценку. Получаем размах ($R_7 = 42,0 - 38,9 = 3,1$ млн. лет), также больше ожидаемого ($\bar{R}_7 = 40,91 \cdot 0,03100 = 1,3$ млн. лет), но в 2,40 раза ($K_7 = 3,1/1,3 = 2,40$). После исключения еще одной наиболее резко отличающейся датировки (38,9 млн. лет) находим, что размах ($R_6 = 42,0 - 39,0 = 3,0$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($\bar{R}_6 = 40,91 \cdot 0,02905 = 1,2$ млн. лет) – в 2,52 раза ($K_6 = 3,0/1,2 = 2,52$). После исключения еще одной устаревшей (1971 г.) датировки (39,0 млн. лет) находим, что размах ($R_5 = 42,0 - 40,5 = 1,5$ млн. лет) немного больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 40,91 \cdot 0,02667 = 1,1$ млн. лет) все-

го в 1,37 раза ($K_5 = 1,5/1,1 = 1,37$). Если исключить еще одну наиболее резко отличающуюся оценку (42,0 млн. лет), найдем, что размах ($R_4 = 40,7 - 40,5 = 0,2$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($R_4 = 40,91 \cdot 0,02360 = 1,0$ млн. лет) в 4,83 раза ($K_4 = 0,2/1,0 = 1/4,83$). Из пяти величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_5 = 1,37$. Поэтому по пяти датировкам (40,5 – 42,0 млн. лет) рассчитано среднее начало приабонского века: $40,91 \pm 0,30$ т млн. лет

Олигоценовая эпоха. Руппельский век. Опубликовано 25 датировок: 32,0 (3), 33,6 (65), 33,8 (37), 34,0 (66), 35,2 (22), 35,6 (63, 68), 35,8 (54), 35,9 (30), 36,09 (9), 36,1 (64), 36,2 (21), 36,4 (18, 70), 36,9 (24, 55), 37,5 (39), 37,7 (44), 38,0 (46, 62), 38,2 (72), 38,5 (40, 74), 39,1 (11) и 41,0 млн. лет (51). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за высокой плотности оценок в интервале 35,6 – 36,4 млн. лет (девять датировок вместо ожидаемых четырех, $Q < 5\%$) и дефицита оценок в смежном интервале 34,1 – 35,5 млн. лет (одна оценка вместо ожидаемых пяти, $Q < 10\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 32,0 – 34,0 млн. лет – четыре датировки, 2) 35,2 – 41,0 млн. лет – 21 оценка. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая четыре самые новейшие датировки 80-х годов, в то время как в первой группе всего одна такая оценка, к тому же из шкалы (66), где среднеквадратичная ошибка $\sigma_1 = 4,5\%$. Во второй группе одна из устаревших (1959 г.) датировок (41,0 млн. лет) резко отличается от остальных двадцати, так как $r_{21}^1 = (41,0 - 39,1) / (41,0 - 35,2) = 0,328$ ($Q < 5\%$), в связи с чем она исключена из анализа. Статистика остальных двадцати оценок, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению ($Q < 5\%$) из-за повышенной плотности в интервале 35,6 – 36,4 млн. лет (девять датировок против ожидаемых четырех, $Q < 5\%$) и дефицита оценок в смежном интервале 36,5 – 37,4 млн. лет (две датировки вместо ожидаемых шести, $Q < 10\%$), что свидетельствует о наличии двух подгрупп: 2.1) 35,2 – 36,9 млн. лет – 12 оценок, 2.2) 37,5 – 39,1 млн. лет – восемь датировок. Предпочтительнее первая подгруппа, включающая главным образом новейшие оценки (1975 – 1984 г.), в то время как во второй подгруппе преобладают устаревшие (1960 – 1973 гг.) данные. В первой подгруппе разность крайних датировок ($R_{12} = 36,9 - 35,2 = 1,7$ млн. лет) слегка больше ожидаемой ($\bar{R}_{12} = 35,93 \cdot 0,03736 = 1,3$ млн. лет) – всего в 1,27 раза ($K_{12} = 1,7/1,3 = 1,27$). Если исключить две наиболее резко выделяющиеся устаревшие (1961 и 1972 гг.) оценки (36,9 млн. лет), то получим размах ($R_{10} = 36,4 - 35,2 = 1,2$ млн. лет) немного меньше ожидаемого ($\bar{R}_{10} = 35,93 \cdot 0,03528 = 1,3$ млн. лет) – в 1,06 раза ($K_{10} = 1,2/1,3 = 1/1,06$). Из двух величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_{10} = 1/1,06$. Поэтому по десяти датировкам (35,7 – 36,4 млн. лет) рассчитано среднее начало руппельского века: $35,93 \pm 0,13$ т млн. лет.

Хатский век. Известны десять датировок: 27,0 (66), 31,6 (64), 32,0 (39), 32,3 (18, 40, 74), 32,32 (9), 32,6 (44) и 32,8 млн. лет (30, 46). Из них первая резко отличается от остальных девяти, так как $r_{10}^1 = (31,6 - 27,0) / (32,8 - 27,0) = 0,793$ ($Q < 0,05$ %), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 27,0 млн. лет — одна оценка, 2) 31,6 — 32,9 млн. лет — девять датировок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая четыре самых новейших оценки 80-х годов, в то время как в первой — только одна такая датировка, к тому же из шкалы (66), где среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma = 4,5$ %. Во второй группе разность крайних оценок ($R_9 = 32,8 - 31,6 = 1,2$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($\bar{R}_9 = 32,34 \cdot 0,03405 = 1,1$ млн. лет) — всего в 1,09 раза ($K_9 = 1,2/1,1 = 1,09$). Если исключить наиболее резко выделяющуюся датировку (31,6 млн. лет), то получим размах ($R_8 = 32,8 - 32,0 = 0,8$ млн. лет) значительно меньше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 32,34 \cdot 0,03264 = 1,1$ млн. лет) — в 1,32 раза ($K_8 = 0,8/1,1 = 1/1,32$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_9 = 1,09$. Поэтому по девяти оценкам (31,6 — 32,8 млн. лет) вычислено среднее начало хатского века: $32,34 \pm 0,13$ т млн. лет.

НЕОГЕНОВЫЙ ПЕРИОД. Миоценовая эпоха. Аквитанский век. Опубликовано 29 датировок: 22,4 (63), 22,5 (39), 22,9 (72), 23,0 (12, 66), 23,1 (30), 23,4 (65, 68), 23,6 (18, 54), 23,9 (64), 24,00 (9), 24,3 (42, 75), 24,4 (21, 26, 44), 24,6 (46, 62), 25,0 (3), 25,6 (38, 51, 55, 70), 25,9 (13), 26,4 (24) и 26,7 млн. лет (40, 56, 74). Их статистика противоречит нормальному распределению из-за дефицита оценок в интервале 24,7 — 25,5 млн. лет (одна датировка вместо ожидаемых семи, $Q < 5$ %), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 22,4 — 25,0 млн. лет — двадцать оценок, 2) 25,6 — 26,7 млн. лет — девять датировок. Предпочтительнее первая группа, в которой преобладают новейшие (1978 — 1984 гг.) оценки, в то время как во второй группе — устаревшие (1959 — 1964 гг.). В свою очередь, статистика первой группы также противоречит нормальному распределению ($Q < 5$ %) из-за повышенной плотности датировок в интервале 24,3 — 24,6 млн. лет (семь оценок против ожидаемых трех, $Q < 5$ %) и дефицита датировок в смежном интервале 23,7 — 24,2 млн. лет (две оценки вместо ожидаемых шести, $Q < 12$ %), что свидетельствует о наличии двух подгрупп: 1.1) 22,4 — 23,6 млн. лет — десять датировок, 1.2) 23,9 — 25,0 млн. лет — десять оценок. В первой подгруппе разность крайних датировок ($R_{10} = 23,6 - 22,4 = 1,2$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_{10} = 24,32 \cdot 0,03528 = 0,86$ млн. лет) в 1,40 раза ($K_{10} = 1,2/0,86 = 1,40$). После исключения наиболее резко выделяющейся оценки (22,4 млн. лет) получаем размах ($\bar{R}_9 = 23,6 \cdot 22,5 = 1,1$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_9 = 24,32 \cdot 0,03405 = 0,83$ млн. лет), но в 1,33 раза ($K_9 = 1,1/0,83 = 1,33$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся

щуюся датировку (22,5 млн. лет), то найдем, что размах ($R_8 = 23,6 - 22,9 = 0,7$ млн. лет) получается несколько меньше ожидаемого ($\bar{R}_8 = 24,32 \cdot 0,03264 = 0,79$ млн. лет) — всего в 1,13 раза ($K_8 = 0,7/0,79 = 1/1,13$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_8 = 1/1,13$. Поэтому по восьми оценкам первой подгруппы (22,9 — 23,6 млн. лет) получаем первый вариант среднего возраста начала аквитанского века: $23,25 \pm 0,10$ т млн. лет.

Во второй подгруппе разность крайних датировок ($R'_{10} = 25,0 - 23,9 = 1,1$ млн. лет) несколько больше ожидаемой ($\bar{R}'_{10} = 0,86$ млн. лет) — в 1,28 раза ($K'_{10} = 1,1/0,86 = 1,28$). После исключения наиболее резко выделяющейся устаревшей (1975 г.) оценки (25,0 млн. лет) получаем размах ($R'_9 = 24,6 - 23,9 = 0,7$ млн. лет) немного меньше ожидаемого ($\bar{R}'_9 = 0,83$ млн. лет) — всего в 1,13 раза ($K'_9 = 0,7/0,83 = 1/1,13$). Из двух величин коэффициентов K' меньше отличается от единицы $K'_9 = 1/1,13$. Поэтому по девяти датировкам (23,9 — 24,6 млн. лет) вычислен второй вариант начала аквитанского века: $24,32 \pm 0,09$ т млн. лет.

Из двух полученных вариантов предпочтительнее последний, поскольку среди девяти оценок второй подгруппы — две лучшие новейшие датировки 80-х годов из шкал (9 и 46), в которых среднеквадратичные относительные ошибки соответственно равны 1,4 и 2,6 %, в среднем $\sigma_1 = 2,1$ %, в то время как среди восьми оценок первой подгруппы — три новейшие датировки 80-х годов из шкал (12, 18, 66), в которых среднеквадратичные относительные ошибки соответственно равны 4,1, 1,7 и 4,5 %, в среднем 3,6, уступающие по качеству новейшим датировкам первой подгруппы (3,6 > 2,1 %). Кроме того, среди девяти оценок второй подгруппы преобладают новейшие датировки (1978 — 1984 гг.), а в первой — устаревшие (1960 — 1976 гг.). Итак, принимаем среднее начало аквитанского века равным $24,32 \pm 0,09$ т млн. лет.

Бурдигальский век. Известны четыре датировки: 19,5 (39), 19,7 (42), 21,69 (9) и 22,0 млн. лет (3). Здесь разность крайних оценок ($\bar{R}_4 = 22,0 - 19,5 = 2,5$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_4 = 19,60 \cdot 0,02360 = 0,46$ млн. лет) — в 5,40 раза ($K_4 = 2,5/0,46 = 5,40$). Исключив наиболее резко выделяющуюся устаревшую (1975 г.) датировку (22,0 млн. лет) находим, что размах ($\bar{R}_3 = 21,69 - 19,5 = 2,19$ млн. лет) также значительно больше ожидаемого ($R_3 = 19,60 \times 0,01940 = 0,38$ млн. лет) — в 5,76 раза ($K_3 = 2,19/0,38 = 5,76$). Если исключить еще одну наиболее резко выделяющуюся оценку (21,69 млн. лет), получим размах ($R_2 = 19,7 - 19,5 = 0,2$ млн. лет) немного меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 19,60 \cdot 0,01293 = 0,25$ млн. лет) — в 1,27 раза ($K_2 = 0,2/0,25 = 1/1,27$). Из трех величин коэффициентов K меньше всего отличается от единицы $K_2 = 1/1,27$. Поэтому по двум датировкам (19,5 и 19,7 млн. лет) рассчитано среднее начало бурдигальского века: $19,60 \pm 0,13$ т млн. лет.

Ланггийский век*. Изучены три датировки: 14,5 (39), 16,67 (75) и 16,7 млн. лет (42). Первая из них резко отличается от двух других, так как $r_3^1 = (16,67 - 14,5)/(16,7 - 14,5) = 0,986$ ($Q < 2\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 14,5 млн. лет — одна оценка, 2) 16,67 и 16,7 млн. лет — две датировки. Казалось бы, что предпочтительнее первая группа с новейшей (1983 г.) оценкой, в то время как во второй группе преобладают устаревшие (1977 и 1978 гг.) данные. Однако в этом случае длительность раннего лангия, $14,5 (35) - 14,4 (46) = 0,1$ млн. лет получается в 19 раз меньше продолжительности позднего лангия, $14,4 (46) - 12,5$ (см. ниже) = 1,9 млн. лет, что противоречит второму принципу (длительность стратона не может в четыре или более раз превышать продолжительность смежного подразделения того же ранга). Поэтому среднее начало лангия рассчитано по двум датировкам (16,67 и 16,7 млн. лет) второй группы: $16,8 \pm 0,14$ т млн. лет. При этом $0,14 = 16,68 \cdot 0,0115/\sqrt{2}$ — рассчитано с учетом среднеквадратичной ошибки ($\sigma_0 = 1,15\%$) среди "хороших" датировок фанерозоя, поскольку размах ($\bar{R}_2 = 16,7 - 16,67 = 0,03$ млн. лет) в семь раз меньше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 16,68 \cdot 0,01293 = 0,22$ млн. лет), что нарушает второй принцип.

Серравалийский век. Опубликованы три датировки: 12,5 (39), 14,9 (42) и 15,4 млн. лет (75). Здесь разность крайних оценок ($R_3 = 15,4 - 12,5 = 2,9$ млн. лет) резко превышает ожидаемую ($\bar{R}_3 = 12,5 \times 0,01940 = 0,24$ млн. лет) в 12,0 раз ($K_3 = 2,9/0,24 = 12,0$); а две датировки (16,07 и 16,7 млн. лет) противоречат оценке начала позднего лангия (14,4 млн. лет) по (46). Поэтому предпочтительнее первая датировка, по которой начало серравалия $12,50 \pm 0,18$ т млн. лет, где $0,18 = 12,50 \cdot 0,0115$.

Тортонский век. Известны пять датировок: 11,0 (39), 11,3 (46), 12,1 (42), 12,3 (74) и 12,49 млн. лет (75). Здесь — разность крайних оценок ($R_5 = 12,3 - 11,0 = 1,3$ млн. лет) значительно больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 11,15 \cdot 0,02667 = 0,30$ млн. лет) в 4,37 раза ($K_5 = 1,3/0,30 = 4,37$). После исключения трех устаревших (1975 — 1978 гг.) датировок (12,1—12,49 млн. лет) получаем размах ($R_2 = 11,3 - 11,0 = 0,3$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 11,15 \cdot 0,01293 = 0,14$ млн. лет) в 2,08 раза ($K_2 = 0,3/0,14 = 2,08$). Из двух величин коэффициента K меньше

*Названия (в соответствии с Программой геологической корреляции и терминологией И.Г. Щербы) части неогеновых и четвертичных веков, употребляемых в СССР, соответствуют наименованиям веков западно-европейской схемы: тарханский — нижнему лангию и, возможно, самым верхам бурдигала; чокракский — верхнему лангию; караганский — нижней части серравалия; конкский — средней фазе серравалия; сарматский — верхней части серравалия и основной части тортон западно-европейской шкалы; мзотис — верхам тортон и самым низам мессиния; понт — в основном мессинию и самым низам занклия; киммерийский — основной части занклия; ачкагыл — пьянценцию; апшерон — калабрию; баку — сицилию.

отличается от единицы $K_2 \approx 2,08$. Поэтому по двум оценкам (11,0 и 11,3 млн. лет) и рассчитано среднее начало тортонского века: $11,15 \pm 0,19 \text{ т млн. лет}$.

Мессинский век. Изучены четыре датировки: 6,70 (19), 6,9 (42), 7,0 (39) и 8,1 млн. лет (75). Из них последняя резко отличается от первых трех, так как $r_{\frac{1}{4}} = (8,1 - 7,0) / (8,1 - 6,7) = 0,786$ ($Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 6,70 – 7,0 млн. лет – три оценки, 2) 8,1 млн. лет – одна датировка. Предпочтительнее первая, основная группа, включающая главным образом новейшие (1982 – 1983 гг.) оценки, в то время как вторая группа представлена устаревшей (1978 г.) датировкой. В первой группе разность крайних оценок ($R_3 = 7,0 - 6,7 = 0,3$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_3 = 6,87 \cdot 0,01940 = 0,13$ млн. лет) в 2,251 раза ($K_3 = 0,3/0,13 = 2,251$). Если же исключить наиболее резко выделяющуюся датировку (7,0 млн. лет) из шкалы (39), менее ценную по сравнению с оценкой 6,7 млн. лет из шкалы (19), поскольку среднеквадратичная относительная ошибка в (39) – 4,3% – больше таковой в (19) – 2,8%, – то получим размах ($R_2 = 6,9 - 6,7 = 0,2$ млн. лет) больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 6,87 \cdot 0,01293 = 0,09$ млн. лет) в 2,252 раза ($K_2 = 0,2/0,08 = 2,252$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_3 = 2,251$, поэтому по трем оценкам (6,7 – 7,0 млн. лет) рассчитано среднее начало мессиния: $6,87 \pm 0,10 \text{ т млн. лет}$.

Плиоценовая эпоха. Занклийский век. Опубликовано пять датировок: 5,0 (39, 42), 5,1 (46), 5,18 (75) и 5,2 млн. лет (19). Здесь разность крайних оценок ($R_5 = 5,2 - 5,0 = 0,2$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_5 = 5,16 \cdot 0,02667 = 0,14$ млн. лет) в 1,45 раза ($K_5 = 0,2/0,14 = 1,45$). При этом две крайние датировки опубликованы в одном и том же 1983 г.: 5,0 млн. лет – в шкале (39) со среднеквадратичной относительной ошибкой $\sigma_1 = 4,3\%$; 5,2 млн. лет – в шкале (19) со среднеквадратичной относительной ошибкой $\sigma_2 = 2,8\%$. Поскольку $\sigma_1 > \sigma_2$, исключаем менее ценную датировку (5,0 млн. лет) из шкалы (39) и такую же оценку из шкалы (42). Получаем размах ($R_3 = 5,2 - 5,1 = 0,1$ млн. лет), равный ожидаемому ($\bar{R}_3 = 5,16 \cdot 0,01940 = 0,10$ млн. лет). Поэтому по трем датировкам (5,1 – 5,2 млн. лет) рассчитано среднее начало занклия: $5,16 \pm 0,03 \text{ т млн. лет}$.

Век пьяченций. Известны три датировки: 3,1 (42), 3,15 (19) и 3,2 млн. лет (39). Здесь разность крайних оценок ($R_3 = 3,2 - 3,1 = 0,1$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_3 = 3,18 \cdot 0,01940 = 0,06$ млн. лет) в 1,62 раза ($K_3 = 0,1/0,06 = 1,62$). Исключив устаревшую (1977 г.) датировку (3,1 млн. лет) получаем размах ($R_2 = 3,2 - 3,15 = 0,05$ млн. лет) также больше ожидаемого ($\bar{R}_2 = 3,18 \cdot 0,01293 = 0,04$ млн. лет), но всего в 1,22 раза ($K_2 = 0,05/0,04 = 1,22$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_2 = 1,22$. Поэтому по двум оценкам (3,15 и 3,2 млн. лет) рассчитано среднее начало пьяченция: $3,18 \pm 0,03 \text{ т млн. лет}$.

ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ПЕРИОД. Калабрийский век. Опубликованы 12 датировок: 1,03 (51, 55), 1,47 (21), 1,71 (13), 1,75 (3, 9), 1,8 (12, 39, 74), 2,0 (42, 46) и 2,05 млн. лет (75). Их статистика противоречит нормальному распределению ($Q < 5\%$) из-за дефицита оценок в интервале 1,48 – 1,70 млн. лет (нет ни одной датировки вместо ожидаемых трех, $Q < 10\%$) и повышенной плотности оценок в смежном интервале 1,71 – 1,8 млн. лет (шесть датировок против ожидаемой одной, $Q < 10\%$), что свидетельствует о наличии двух групп: 1) 1,03 – 1,47 млн. лет – три оценки, 2) 1,71 – 2,05 млн. лет – девять датировок. Предпочтительнее вторая, основная группа, включающая главным образом новейшие (1978 – 1984 гг.) оценки, а в первой – одни устаревшие (1959 – 1966 гг.) данные. Статистика второй группы, в свою очередь, также противоречит нормальному распределению из-за дефицита датировок в интервале 1,81 – 1,99 млн. лет (нет ни одной оценки вместо ожидаемых четырех, $Q < 5\%$), что свидетельствует о наличии во второй группе двух подгрупп: 2.1) 1,71 – 1,8 млн. лет – шесть датировок, 2.2) 2,0 – 2,05 млн. лет – три оценки. Предпочтительнее первая основная подгруппа с тремя самыми новейшими оценками 80-х годов, а во второй – всего одна такая датировка, но из "хорошей" шкалы (46) со среднеквадратичной относительной ошибкой $\sigma_1 = 2,6\%$: В первой подгруппе такие равны 1,4, 4,3 и 4,6 %, а по совокупности трех шкал (9, 13 и 39) среднеквадратичная относительная ошибка ожидается равной $\sigma_2 = 1/\sqrt{(1/4,6^2 + 1/1,4^2 + 1/4,3^2)}/9 = 1,3\%$. В первой подгруппе разность крайних оценок ($R_6 = 1,8 - 1,71 = 0,09$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_6 = 1,78 \cdot 0,02905 = 0,052$ млн. лет) в 1,71 раза ($K_6 = 0,09/0,052 = 1,74$). После исключения наиболее резко выделяющейся устаревшей (1978 г.) датировки (1,71 млн. лет) получаем размах ($R_5 = 1,8 - 1,75 = 0,05$ млн. лет) несколько больше ожидаемого ($\bar{R}_5 = 1,78 \cdot 0,02667 = 0,047$ млн. лет) всего в 1,05 раза ($K_5 = 0,05/0,047 = 1,05$). Из двух величин коэффициентов K меньше отличается от единицы $K_5 = 1,05$. Поэтому по пяти оценкам (1,75 – 1,8 млн. лет) и было рассчитано среднее начало калабрийского века: $1,78 \pm 0,01 t$ млн. лет.

Сицилийский век. Изучены три датировки: 0,68 (9, 13) и 0,7 млн. лет (39). Здесь разность крайних оценок ($R_3 = 0,7 - 0,68 = 0,02$ млн. лет) больше ожидаемой ($\bar{R}_3 = 0,69 \cdot 0,01940 = 0,013$ млн. лет) в 1,49 раза ($K_3 = 0,02/0,013 = 1,49$), но в пределах допустимого. Поэтому по трем датировкам (0,68 – 0,7 млн. лет) рассчитано среднее начало сицилия: $0,69 \pm 0,01 t$ млн. лет.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 77 ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ ФАНОРОЗОЯ

Принимая за основу предполагаемую геохронологическую шкалу фанерозоя (см. табл. 3), вычислим для всех датировок каждой из 77 шкал относительные отклонения $\Delta T_i\% = 100(T_i - T_0)/T_0$, где T_0 –

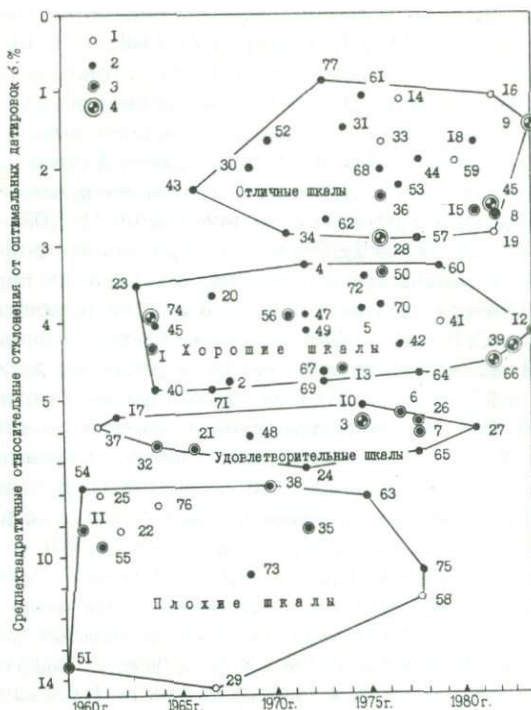


Рис. 13. Среднеквадратичные относительные отклонения датировок ($\bar{\sigma}$) в каждой из 77 шкал фанерозоя — от оптимальных (средних) оценок начала веков — в зависимости от дат публикаций (1959 — 1984 гг.).

1 — 1—4 датировки, 2 — 5—11, 3 — 12—19, 4 — 46—89. Цифры соответствуют номерам шкал

оценки предлагаемой шкалы (см. табл. 3), T_i — оценки опубликованных 77 шкал, ΔT_i % — относительные отклонения. Затем для каждой из 77 шкал определим среднеквадратичные относительные отклонения от предлагаемой шкалы (см. табл. 3), которые в первом приближении можно рассматривать как среднеквадратичные относительные ошибки этих шкал (σ_i).

На рис. 13 показаны все 77 шкал в соответствии с вычисленными относительными среднеквадратичными их ошибками (σ_i) и датами публикаций шкал. На рис. 13 отчетливо заметен тренд среднеквадратичных относительных ошибок по датам публикаций 77 шкал: коэффициент корреляции $r = 0,45$, что на высоком уровне значимости ($Q > 99,95$ %) свидетельствует о наличии тренда. В самом деле, в 1959 — 1970 гг. среднеквадратичные относительные ошибки в среднем равнялись 6,5 %,

в 1971 — 1980 гг. стандарт этих ошибок составлял уже только в 4,8 %, а в 1981 — 1984 гг. — и того меньше, всего 3,0 %. Это средние ошибки, а лучшие из опубликованных 77 шкал характеризуются еще меньшими относительными ошибками. На этом рисунке показаны семь очень детальных шкал с 46 — 89 датировками, 18 детальных шкал с 12 — 19 оценками, 40 недетальных шкал с пятью—одиннадцатью датировками и 12 шкал с одной-четырьмя оценками. По качеству выделены 24 отличные шкалы со среднеквадратичными относительными ошибками (σ) от 0,85 до 2,93 %, 26 хороших шкал, где $\sigma = 3,23 - 4,85$ %, 13 удовлетворительных шкал со средними ошибками $\sigma = 5,16 - 7,17$ % и 14 плохих шкал, среднеквадратичные относительные ошибки которых колеблются от 7,73 до 14,34 %.

Среди очень детальных к отличным относятся шкалы, которые опубликовали в своих сводках: С.Л. Афанасьев (1984; 89 датировок; среднеквадратичная ошибка 1,43 %), У. Харланд и др. (1982, 69 оценок, $\sigma = 2,57$ %), Р. Армстронг (1976; 57 датировок; $\sigma = 2,93$ %); к хорошим — Фанерозойская шкала геологического возраста (1964; 46 оценок, $\sigma = 3,93$ %), Ф. ван Эйзинга (1983; 81 датировка; $\sigma = 4,30$ %), Ж. Одэн (1982; 57 оценок; $\sigma = 4,47$ %); к удовлетворительным — Г.Д. Афанасьев, С.И. Зыков (1975; 54 датировки; $\sigma = 5,70$ %).

Среди детальных к отличным относятся шкалы, которые опубликовали в своих сводках: Г. Эрнст, Х. Крейцер (1976; $\sigma = 2,36$ %), И.Н. Красилова (1981; $\sigma = 2,54$ %), С.Л. Афанасьев (1982; $\sigma = 2,59$ %); к хорошим — Ж. ван Хинте (1976, $\sigma = 3,32$ %), Р. Ламберт (1971, $\sigma = 3,93$ %), Геохронологическая таблица (1984, $\sigma = 4,11$ %), Г.Д. Афанасьев и др. (1964, $\sigma = 4,33$ %), Геохронология СССР (1974, $\sigma = 4,59$ %).

Среди недетальных к отличным относятся шкалы, которые опубликовали в своих сводках: Б. Винтерер (1973; $\sigma = 0,85$ %), Д. Обрадович, В. Коббан (1975; $\sigma = 1,01$ %), Д. Букри (1974, $\sigma = 1,46$ %), Е. Кауфман (1970; $\sigma = 1,62$ %), Г.И. Немков, М.А. Ахметьев (1981; $\sigma = 1,67$ %), Д. Харденбол, В. Берггрен (1978; $\sigma = 1,88$ %), В. Бергерен (1969; $\sigma = 1,98$ %), Ч. Померол (1976; $\sigma = 2,00$ %), Е.Кауфман (1977; $\sigma = 2,21$ %), Д. Гилл, В. Коббан (1966; $\sigma = 2,22$ %), Ж. Одэн (1973; $\sigma = 2,63$ %), К. Криер (1971; $\sigma = 2,83$ %), Я. Ланселот и др. (1978; $\sigma = 2,90$ %); к хорошим — С.Л. Афанасьев, М.А. Пергамент, Ю.П. Смирнов (1972; $\sigma = 3,23$ %), Л. Монтадерт и др. (1979; $\sigma = 3,23$ %), Р. Стейнфорс и др. (1975; $\sigma = 3,40$ %), М.М. Рубинштейн (1963; $\sigma = 3,48$ %), М.А. Пергамент (1967; $\sigma = 3,63$ %), М.М. Рубинштейн, Л. К. Габуня (1976; $\sigma = 3,77$ %), С.Л. Афанасьев (1975; $\sigma = 3,82$ %), Д. Хайес, А. Пим (1972; $\sigma = 3,86$ %), У. Харланд и др. (1964; $\sigma = 4,03$ %), Ж. ван Хинте (1972; $\sigma = 4,06$ %), ГКП (1977, $\sigma = 4,27$ %); Ж. Одэн (1978; $\sigma = 4,66$ %), Д.М. Печерский, А.Н. Храмов (1973; $\sigma = 4,66$ %), А. Рамзей и др. (1973; $\sigma = 4,71$ %), Г.Д. Афанасьев (1968; $\sigma = 4,74$ %), Ж. Сигал (1967; $\sigma = 4,94$ %), Б. Фаннел (1964, $\sigma = 4,85$ %).

Среди шкал с одной — четырьмя датировками рубежей фанерозоя к отличным относятся те из них, которые опубликовали в своих работах: Д.П. Найдин (1982, $\sigma = 1,04\%$), Б.М. Келлер и др. (1977, $\sigma = 1,13\%$). Ч. Кавалье, Ч. Померол (1976, $\sigma = 1,63\%$), В. Маккероу и др. (1980, $\sigma = 1,89\%$), М.А. Певзнер и др. (1982; $\sigma = 2,83\%$); к хорошим — Н. Гейл и др. (1979, $\sigma = 3,99\%$).

Наиболее точные и детальные лучшие для своего времени геохронологические шкалы опубликованы в работах: А. Холмс (1959; 14 датировок, $\sigma = 13,5\%$), Геохронологическая шкала СССР (1960; 12 оценок; $\sigma = 9,0\%$), Фанерозойская шкала геологического возраста (1964, 46 датировок, $\sigma = 3,93\%$), Р. Армстронг (1976, 57 оценок, $\sigma = 2,93\%$), У. Харланд и др. (1982, 71 датировка, $\sigma = 2,57\%$), С.Л. Афанасьев (1984, 96 оценок, $\sigma = 1,43\%$). Необходимо подчеркнуть, что в сводке Фанерозойская шкала геологического возраста по сравнению с предыдущей лучшей в мире Геохронологической шкалой СССР (1960) почти в четыре раза возросло число датированных рубежей фанерозоя, в два с лишним раза улучшено качество оценок, в связи с чем эта шкала была лучшей в мире с 1964 по 1975 гг. — 12 лет (шкала-“долгожительница”). В табл. 9 показаны начала эпох по 11 наиболее детальным шкалам.

В нашей работе [6] ожидавшаяся среднеквадратичная относительная ошибка составляла $\sigma_0 = 1,30\%$. Фактически она оказалась равной $\sigma_1 = 1,43\%$, что свидетельствует об эффективности опубликованных в этой работе датировок и высокой точности самой шкалы. В предлагаемой (см. табл. 2) шкале среднеквадратичная относительная ошибка датировок ожидается равной $\sigma_2 = 0,70\%$, вдвое меньше по сравнению с σ_1 .

Используя данные по среднеквадратичным относительным ошибкам 77 шкал, можно составить прогноз, как будут уменьшаться значения $\sigma\%$ со временем (T — год публикации шкалы), что отражено в уравнении (5):

$$\lg \sigma \% = -0,0003481(T - 1975)^2 - 0,02019(T - 1975) + 0,06355. (5)$$

По (5) в 1990 г. среднеквадратичная относительная ошибка в опубликованных шкалах ожидается равной в среднем $\sigma_1 = 1,8\%$, а в 2000 г. — $0,8\%$. Используя (5), находим, что в 1964 г. среднее значение $\sigma_0 = 6,54\%$; в сводке Фанерозойская шкала геологического возраста, опубликованной в том же 1964 г. среднеквадратичная относительная ошибка $\sigma_1 = 3,9\%$ в 1,66 раза меньше средней ошибки публикаций этого года. Аналогичный расчет произведен для 1976 г. $\sigma_0 = 4,12\%$; в шкале, которую опубликовал Р. Армстронг в том же 1976 г. $\sigma_1 = 2,93\%$ в 1,41 раза меньше. Точно так же в 1982 г. $\sigma_0 = 3,00\%$; а в шкале, которую опубликовали У. Харланд и др. в том же 1982 г., — $\sigma_1 = 2,57\%$ в 1,17 раз меньше. И наконец, по (5) ожидаемая относительная среднеквадратичная ошибка определения начала веков и фаз фанерозоя в 1984 г. $\sigma_0 = 2,92\%$, а в работе С.Л. Афанасьева (1984) она оказалась

Таблица 9

Начала периодов и эпох фанерозоя (в млн. лет), пересчитанные на константы, утвержденные XXV сессией МГК, по данным разных исследователей

Индекс	Фанерозойская шкала геологического возраста	Геохронология СССР, 1974	Г.Д. Афанасьев, С.И. Зыков, 1975	Р. Армстронг, 1978	И.Н. Красилова и др. 1981	Ж. Одэн, 1982	У. Харланд и др., 1982	Ф. ван Зйзинга, 1983	Геохронологическая таблица, 1984	С.Л. Афанасьев, 1984	Предлагаемые датировки
O ₁	1,8	1,7	1,8	—	1,8	—	2,0	1,8	1,8	1,75	1,78
N ₂	7,2	8,8	9,0	—	5,0	—	5,1	5,0	—	—	5,16
N ₁	27	26	25	—	24	23	24,6	22,5	23	24,00	24,32
P ₃	38	—	32	—	36	34	38,0	37,5	—	36,09	35,93
P ₂	55	59	58	—	55	53	54,9	54,5	—	54,94	54,90
P _{1d}	67	—	68	64	67	65	65	65	65*	66,09	65,88
K ₂	—	108	100	94	96	95	97,5	100	—	95,18	95,56
K ₁	138	137	132	143	139	130	144	141	135	138,2	138,2
J ₃	165	—	153	166	—	158	169	164	—	165,3	165,7
J ₂	—	—	168	—	—	181	188	176	—	181,9	183,6
J ₁	195	203	185	212	199	204	213	195	190	205,1	208,7
T ₃	209	—	210	234	—	229	231	212	—	228,8	230,6
T ₂	220	—	219	242	—	239	243	223	—	238,7	240,6
T ₁	230	244	234	247	232	245	248	230	230	245,3	245,8
P ₂	—	—	254	—	255	258	258	251	—	260,8	257,0
P ₁	284	290	279	289	285	290	286	280	285	287,1	286,8
C ₃	298	—	299	306	300	300	—	290	—	300,8	300,8
C ₂	318	—	319	330	320	310	320	315	—	316,8	317,0
C ₁	349	351	344	368	348	360	360	345	350	353,9	353,5
D ₃	366	—	359	385	—	375	374	360	—	369,4	371,3
D ₂	377	—	374	396	—	385	387	370	—	380,9	381,0
D ₁	400	400	399	416	410	400	408	395	405	398,0	409,6
S ₂	—	—	413	432	—	—	421	414	—	414,4	419,0
S ₁	442	429	433	446	436	418	438	435	435	434,5	437,8
O _{3k}	453	—	448	—	—	425	458	450	—	459,4	455,0
O ₂	—	—	472	490	—	470	478	472	—	479,3	474,3
O ₁	508	497	487	509	480	495	505	500	480	504,0	504,4
Є ₃	523	—	512	524	505	—	523	515	—	519,5	517,6
Є ₂	548	—	542	545	530	—	540	535	—	546,0	541,9
Є ₁	579	555	566	574	585	530	590	570	570	570,3	571,3
σ%	3,9	6,0	5,7	2,9	2,1	4,5	2,6	4,3	4,6	1,4	0,7

Примечания: 1. Начало палеогена показано в подошве дания, начало позднего ордовика — в основании раннего карадока; 2. В первых пяти шкалах все датировки округлены с относительными ошибками, не превышающими 2%; σ% — среднеквадратичные относительные ошибки шкал с учетом датировок начала не только эпох, но и веков и фаз; 3. Звездочкой отмечено начало монского века.

равной $\sigma_1 = 1,43\%$ в 2,04 раза меньше. Таким образом, в среднем по указанным четырем лучшим шкалам фактическая среднеквадратичная относительная ошибка получается в 1,57 раза меньше по сравнению с ожидаемыми значениями σ_0 , по (5). Другими словами, в 1990 г. ожидается публикация работы, где относительная среднеквадратичная ошибка составит всего 1,2 %, а в 2000 г. — даже 0,5 %.

Используя данные по лучшим для своего времени шести шкалам (9, 11, 28, 46, 51, 74), легко составить прогнозное уравнение (6), где n — ожидаемое число датировок рубежей фанерозоя, а T — год публикации:

$$\lg n = 0,03058 (T - 1970) + 1,5541. \quad (6)$$

В соответствии с (6) в 1990 г. ожидается публикация лучшей к тому времени шкалы, включающей 146 датировок рубежей фанерозоя, а в 2000 г. — 264 датировок, т. е. практически всех фаз фанерозоя.

Статистика 1056 относительных отклонений датировок 77 шкал от предполагаемой геохронологической таблицы (см. табл. 3) противоречит нормальному распределению из-за резкого избытка датировок с относительным отклонением менее 1,4 % (476 оценок против ожидаемых 224, $Q < 0,05\%$) и свыше 11,3 % (41 датировка вместо ожидаемых 27, $Q < 0,1$), а также дефицитом оценок с относительным отклонением 1,4–11,3 % (539 датировок против ожидаемых 805, $Q < 0,05\%$). Однако часть этой статистики с относительными отклонениями меньше 2,3 % на допустимом уровне значимости ($Q > 80\%$) не противоречит нормальному распределению со среднеквадратичным отклонением $\sigma_0 = 1,15\%$. Другими словами, 615 датировок (58,2 %) образуют основную их совокупность, которой было присвоено название "хороших" оценок. Остальные датировки относятся к "плохим" (402 оценки, или 38,1 %) и "очень плохим" (39 датировок, или 3,7 %). Среднее относительное отклонение среди "плохих" оценок составляет $\sigma_1 = 5,9\%$, среди "очень плохих" — $\sigma_2 = 17,7\%$.

Оценки границ веков и фаз фанерозоя, приведенные в табл. 3, несомненно, будут уточняться по мере накопления новых изотопных датировок и уточнение границ био- и литостратонов. Дальнейшие работы по уточнению геохронологической шкалы фанерозоя, по нашему мнению, следует сосредоточить на получении новых изотопных оценок по векам палеозоя, триаса и юры, а также по фазам фанерозоя. Назрела необходимость создания Всемирного банка изотопных датировок с ежегодным анализом последних и публикаций все более совершенных геохронологических шкал фанерозоя.

А пока каждый исследователь, взяв за основу материал настоящей монографии и дополнив его новейшими публикациями, может изложенным выше методом составить новую, более совершенную геохронологическую шкалу фанерозоя.

Итак, современный изотопный метод позволяет уверенно датировать начало всех периодов и эпох фанерозоя, веков мела и кайнозоя, менее уверенно — других веков фанерозоя за редким исключением, к которому относится, например, начало оленекского века. Однако по прогнозируемому уравнению (6) даже в 2000 г. в лучшей к тому времени геохронологической шкале фанерозоя ожидается всего 264 датировки рубежей, в том числе всех веков и фаз и некоторых пор (звеньев), по-видимому, мела и кайнозоя. Другими словами, возможности блистательного изотопного метода и сегодня, и завтра все-таки небезграничны.

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА

Для определения геологического возраста начала всех фаз, пор (звеньев), геологических минут (событий), эпизодов (пакетов), полисекунд (сложных полислоев), геологических секунд (простых полислоев), вековых наноциклов (слоев), солнечных наноциклов (сложных полислоев), геологических терций (простых полислоев), тропических лет (пар слойков, варвов) и более мелких (см. табл. 1) геохронологических подразделений: сезонных пикоциклов (слойков), лунных пикоциклов (лунных пульситов), суточных пикоциклов (суточных пульситов), трехчасовых пикоциклов (пульситов) применялись и используются в настоящее время литологические методы. Многие из них основаны на принципе Стенсена — последовательного накопления “частица за частицей” (пеллетта-за-пеллеттой) осадков на дне водоема, и прежде всего Мирового океана. По аналогии с песочными часами эти литологические методы так и названы: варианты метода песочных часов.

МЕТОД ПЕСОЧНЫХ ЧАСОВ

Метод песочных часов основывается не только на скорости распада радиоактивных элементов [11, 48], но и на анализе солености Мирового океана, на мощности осадочных пород. Последняя разновидность получила название седиментационного метода песочных часов [48]. Нами будут рассмотрены варианты метода песочных часов и даны оценки их точности, в сравнении с геохронологической шкалой фанерозоя.

Первый вариант равномерной интерполяции основан на предположении об одинаковой продолжительности образования стратонов в рассматриваемом интервале. Этот вариант был использован, например, Р. Кейси (1964) для определения границ веков мелового периода. Несмотря на значительные отклонения от фактических границ веков ($\sigma_1 =$

= 2,98 млн. лет), шкала Р. Кейси относится к "хорошим" (см. рис. 13) и была в 1964—1965 гг. лучшей геохронологической шкалой. В табл. 10 равномерная шкала показана для сеноман-датских отложений (T_1). Отклонения от средних датировок границ веков по изотопным данным (T_0) колеблются от $T_1 - T_0 = -0,25$ до $-7,00$ млн. лет, составляя в среднем 2,98 млн. лет, что на порядок больше среднеквадратичных оценок точности определения границ веков позднего мела $T_0' = 0,30$ млн. лет (см. табл. 10). Относительная точность расчета начала веков $(T_1 - T_0)/T_0$ колеблется от -50 до 1497% , составляя в среднем 652% , что также почти на порядок выше относительных ошибок определения рубежей веков по изотопным данным T_0'/T_0 , в среднем равных 79% . Вариант равномерной интерполяции применяется в случаях, когда нет информации об относительной длительности образования тех или иных стратонов. Так, например, было рассчитано начало оленекского века. В рассмотренном примере (см. табл. 10) наибольшая относительная ошибка допущена при определении длительности самого короткого коньякского века — 1497% .

Второй вариант — интерполяции по суммарной (или максимальной) мощности отложений основан на допущении одинаковой скорости седиментации в разных стратонах. Этот вариант использовался, например, Г. Дана (1869), который определил, что относительная продолжительность кайнозоя, мезозоя и палеозоя равна соответственно 14, 28 и 58 % длительности фанерозоя. По оценкам современной геохронологической шкалы (см. табл. 3) это составляет соответственно 11, 32 и 57 %. Средняя относительная ошибка, допущенная Г. Дана, составляет всего 14 %. Ч. Шухерт еще точнее определил относительную продолжительность кайнозоя, мезозоя и палеозоя: 10, 30 и 60 %, допустив всего лишь 7 %-ную среднюю относительную ошибку, соизмеримую с ошибками изотопного метода. В табл. 9 показаны 11 современных геохронологических шкал фанерозоя, составленные по изотопным датировкам. Средние ошибки определения относительной продолжительности кайнозоя, мезозоя и палеозоя по этим шкалам колеблются от 2 до 10 %, составляя в среднем 6 %. Этот вариант был применен В.Б. Нейманом (1962), Д.П. Найдиным (1982). При этом шкала Д.П. Найдина относится к категории лучших современных шкал (см. рис. 13). Расчеты, приведенные в табл. 10, показали, что при анализе суммарной мощности стратонов Новороссийского опорного разреза (НОВ) Северо-Западного Кавказа (СЗК) средняя относительная ошибка составляет 687% , в девять раз превышая среднюю относительную ошибку изотопного метода, что связано с резко различной скоростью седиментации рассматриваемых стратонов. Этот вариант метода эффективен при анализе однородных формаций с низкой скоростью осадконакопления, таких, например, как карбонатные, кремнистые преимущественно биогенные образования. В контрастных формациях типа флишевых рассматриваемый

Таблица 10

Сходимость датировок начала веков позднего мела при их интерполяции по литологическим данным

Век	A, млн. лет	$T_0 + T_0'$, млн. лет	Индексы свит и подсвит НОВ	$\frac{T_0'}{T_0}$ %	T_1 , млн. лет
d	62,14±0,42t	3,72 ± 0,44	nv + an + cc	118	4,79
m	65,86 ± 0,12t	5,02 ± 0,28	ms ₃ + lh + vs + sn	56	4,79
cp	70,88 ± 0,25t	11,77 ± 0,35t	ah + ow + pn + bd + + kn + ms ₁₊₂	30	4,79
s	82,65 ± 0,25t	3,68 ± 0,31 t	gn + nt ₄	84	4,79
cn	86,33 ± 0,19t	1,91 ± 0,21t	nt ₃₊₄	110	4,79
t	88,24 ± 0,08t	3,41 ± 0,20t	ar + kr + nt ₁₊₂	59	4,79
c	91,65 ± 0,18t	3,91 ± 0,23t	kh	59	4,79
Σ, cp	95,56 ± 0,15	33,42 ± 0,299		79,4	33,53
K _{1,2}		1,00		1,00	

Продолжение табл. 10

Век	$T_1 - T_0'$, млн. лет	$\frac{T_1 - T_0'}{T_0'}$ %	B, м	T_2 , млн. лет	$T_2 - T_0'$, млн. лет	$\frac{T_2 - T_0'}{T_0'}$ %	B, млн. лет	T_3 , млн. лет	$T_3 - T_0'$, млн. лет	$\frac{T_3 - T_0'}{T_0'}$ %
d	1,05	282	1456	8,82	5,10	1370	4,5	3,27	-0,45	-121
m	-0,25	-50	1441	8,72	3,70	737	7,5	5,45	0,43	86
cp	-7,00	-595	1473	8,92	-2,85	-242	6,7	4,87	-6,90	-586
s	1,09	296	311	1,88	-1,80	-489	5,9	4,29	0,61	166
cn	2,86	1497	211	1,28	-0,63	-330	5,7	4,14	2,23	1168
t	1,36	399	373	2,26	-1,15	-337	8,3	6,03	2,62	768
c	0,86	220	255	1,54	-2,37	-606	7,4	5,37	1,46	373
Σ, cp	2,98	652	5520	33,42	2,89	687	46,0	33,42	2,98	596
K _{1,2}	9,95	8,21			9,65	8,66			9,97	7,51

Продолжение табл. 10

Век	Г, число	T_4 , млн. лет	$T_4 - T_0$, млн. лет	$\frac{T_4 - T_0}{T_0}$ %	D, м	T_5 , млн. лет	$T_5 - T_0$, млн. лет	$\frac{T_5 - T_0}{T_0}$ %	E, м	T_6 , млн. лет
d	4192	5,73	2,01	540	75,8	1,58	-2,14	-575	64,6	4,77
m	3738	5,11	0,09	18	227,8	4,75	-0,27	-54	83,2	6,14
cp	7815	10,69	-1,08	-92	587,4	12,26	0,49	42	168,1	2,40
s	1730	2,37	-1,31	-356	262,3	5,47	1,79	486	38,2	2,82
cn	1367	1,87	-0,04	-21	161,3	3,37	1,46	764	22,7	1,67
t	3412	4,67	1,26	370	213,1	4,45	1,04	305	39,2	2,89
c	2178	2,98	-0,93	-238	73,7	1,54	-2,37	-606	37,0	2,73
Σ, cp	24432	33,42	1,16	298	1601,4	33,42	1,56	480	453,0	33,42
K _{1,2}			3,87	3,75			5,19	6,05		

Продолжение табл. 10

Век	$T_6 - T_0$, млн. лет	$T_6 - T_0 / T_0$, %	J , млн. лет	T_7 , млн. лет	$T_7 - T_0$, млн. лет	$T_7 - T_0 / T_0$, %	Z , млн. лет	T_8 , млн. лет	$T_8 - T_0$, млн. лет	$T_8 - T_0 / T_0$, %
<i>d</i>	1,05	282	0,02	4,73	1,01	272	3,82	3,64	-0,08	-22
<i>m</i>	1,12	223	0,02	6,09	1,07	213	5,03	4,80	-0,22	-44
<i>cp</i>	0,63	54	0,18	12,45	0,68	58	12,13	11,57	-0,20	-17
<i>s</i>	-0,86	-234	0,02	2,81	-0,87	-236	3,96	3,78	0,10	27
<i>cn</i>	-0,24	-126	0,01	1,67	-0,24	-126	2,02	1,93	0,02	10
<i>t</i>	-0,52	-152	0,04	2,90	-0,51	-150	3,44	3,28	-0,13	-38
<i>c</i>	-1,18	-302	0,07	2,77	-1,14	-292	4,64	4,42	0,51	130
Σ , <i>cp</i>	0,86	213	0,36	33,42	0,85	208	35,04	33,42	0,23	56
$K_{1,2}$	2,88	2,68			2,82	2,62			0,78	0,70

Продолжение табл. 10

Век	<i>I</i> , число	T_9 , млн. лет	$T_9 - T_0$, млн. лет	$T_9 - T_0 / T_0$, %	T_{10} , млн. лет	$T_{10} - T_0$, млн. лет	$T_{10} - T_0 / T_0$, %	T_{11} , млн. лет	$T_{11} - T_0$, млн. лет	$T_{11} - T_0 / T_0$, %
<i>d</i>	13842	3,47	-0,25	-67	3,96	0,24	65	3,98	0,26	70
<i>m</i>	18529	4,65	-0,37	-74	4,99	-0,03	-6	5,01	-0,01	-2
<i>cp</i>	45402	11,39	-0,38	-32	11,63	-0,14	-12	11,72	-0,05	-4
<i>s</i>	15223	3,82	0,14	38	3,63	-0,05	-14	3,65	-0,03	-8
<i>cn</i>	8508	2,14	0,23	120	1,99	0,08	42	2,00	0,09	47
<i>t</i>	14560	3,65	0,24	70	3,35	-0,06	-18	3,37	-0,04	-12
<i>c</i>	17160	4,30	0,39	100	3,87	-0,04	-10	-	-	-
Σ , <i>cp</i>	133224	33,42	0,30	77	33,42	0,11	31	29,73	0,09	31
$K_{1,2}$			1,00	0,97		0,38	0,39		0,29	0,39

Примечания. 1. Индексы свит: *kh* — кохотхская, *ar* — ананурская, *kr* — керетская, *nt* — натухайская, *gn* — гениохская, *ah* — ахейнская, *ow* — ореховская, *pn* — пенайская, *bd* — бедниовская, *kn* — куниковская, *ms* — мысхакская, *lh* — лихтеровская, *vs* — васильевская, *sn* — снегуревская, *nv* — навагирская, *an* — анапская, *ss* — щце; 2. *A* — геологический возраст по изотопным датировкам (млн. лет); *B* — общая мощность; *B* — длительность веков, по П.П. Зотову; 3. При расчете T_2 , T_3 — 11 учтены размытые отложения в НОВ, составляющие в среднем 7% III-ЭЦ; *G* — количество натуральных циклов в НОВ; *D* — суммарная мощность слоев III-ЭЦ; *E* — суммарная мощность терригенной части слоев III-ЭЦ; *J* — длительность образования неаянских слоев песчаников и алевролитов I'-ЭЦ; *Z* — длительность образования слоев III ЭЦ по (7); *I* — количество квантов седиментации — элементарных циклов 13-го класса, длительность которых измеряется геологическими секундами; $K_{1,2}$ — сравнительная оценка ошибок определения продолжительности веков, K_1 — по отношению к T_0 и K_2 — к $(T_0' - T_0) / T_0$ %; T_0 — длительность веков по изотопным датировкам; T_0' — средняя ошибка определения геологического возраста по изотопным датировкам; $T_i - T_0$ — ошибка определения продолжительности веков; $(T_i - T_0) / T_0$ — относительная ошибка определения длительности веков; T_{1-11} — продолжительность веков при интерполяции: T_1 — равномерной, T_2 — по общей мощности, T_3 — по оценкам П.П. Зото-

ва (1972), T_4 — по количеству натуральных циклитов, T_5 — по суммарной мощности слоев III ЭЦ, T_6 — по суммарной мощности терригенной части слоев III ЭЦ, T_7 — то же, но с учетом длительности образования неаяксовых слоев песчаников и алевролитов I' ЭЦ, T_8 — то же, но с учетом скорости седиментации терригенной части слоев III ЭЦ по (7), T_9 — по числу геологических секунд с учетом времени образования неаяксовых слоев I' ЭЦ, T_{10} — то же, но с учетом продолжительности геологических секунд по затменно-перигелиевым циклам, T_{11} — то же, с учетом точности определения начала веков изотопным методом.

вариант метода применим только для мелких стратонов (свит), но и при этом получают значительные ошибки, связанные с резко различной скоростью седиментации.

Третий вариант — П.П. Зотова (1972) — учитывает и общую мощность, и скорость накопления разных типов пород. Если принять за реперные оценки начало сеноманского и конец датского веков, полученные изотопным методом, то по длительности веков [16] можно рассчитать продолжительность веков позднего мела (см. табл. 10): T_3 . Средняя относительная ошибка их определения составляет 596 %, что в восемь раз превышает ошибку изотопного метода. При этом наибольшее отклонение наблюдается для оценки длительности коньякского века — 1168 %.

Несмотря на значительные ошибки (60 %), они все же меньше ошибок метода равномерной интерполяции (65 %).

Четвертый вариант — метод интерполяции по числу простых, или натуральных циклитов основан на допущении одинаковой продолжительности их образования. Составленная нами [5] с применением этого варианта метода шкала веков позднего мела была в 1972 — 1974 гг. самой лучшей из всех опубликованных шкал этого времени, что свидетельствует об эффективности рассматриваемого варианта метода. Средняя относительная ошибка $(T_4 - T_0)/T_0 = 298$ %, лишь в четыре раза превышает среднюю относительную ошибку изотопного метода. Рассматриваемый вариант приводит к ошибкам вдвое меньшим по сравнению с ошибками трех предыдущих вариантов, поэтому предпочтительнее. Ошибки четвертого варианта связаны с разной длительностью образования простого циклита, которая колеблется от долей года до десятков тысяч лет; и даже средняя продолжительность их образования в подсвитах верхнего мела Новороссийского опорного разреза Северо-Западного Кавказа изменяется в 16 раз, от 166 лет в среднеананурской подсвите нижнего турона до 2667 лет в столпастовой подсвите верхнего сантона.

Пятый вариант расчета. В 5-километровой толще верхнемеловых флишевых отложений Новороссийского опорного разреза Северо-Западного Кавказа выделяются три основные группы пород: обломочные и глинистые, биогенные и вулканогенные. Обломочные и глини-

тые породы резко преобладают, составляя три четверти (73 %) разреза. Сравнительно широко развиты преимущественно биогенные образования; они слагают четвертую часть разреза (27 %). Вулканогенные породы занимают резко подчиненное положение: их всего 0,1 %. Хемогенные и космогенные образования не обнаружены.

Элементарная породно-слоевая единица флишевой формации — натуральный циклит, т. е. последовательный ряд литологических подразделений (слоев), отражающих виток спирали геологического развития. Натуральный циклит состоит из ядра и оболочки. Ядро сложено безалевритистыми биогенными образованиями и продуктами их растворения, оболочка — преимущественно обломочными и глинистыми, реже вулканогенными отложениями. Выделяются три основных элемента циклита: первый (I ЭЦ), второй (II ЭЦ), третий (III ЭЦ) (рис. 14) и три второстепенных: нулевой (0 ЭЦ), первый-прим (I' ЭЦ) и четвертый (IV ЭЦ).

Нулевой элемент циклита (0 ЭЦ) представлен обвальными, оползневыми брекчиями и олистостромами. Они сложены недифференцированными образованиями “предциклита” — еще не сформировавшегося флишевого циклита. Средний размер обломков в оползневых и обвальных брекчиях от 0,1 до 100 м. Отдельные обломки могут достигать 1 км — это олистотриммы или олистоплаки, в зависимости от их формы, изометричной или плоской. Мощность обвальных или оползневых брекчий от 10 до 2000 м. Средний размер обломков в олистостромах обычно от 1 до 100 мм, толщина слоев 2—50 м. 0 ЭЦ характерны для бортовых частей флишевых трогов, временных и эфемерных прогибов кордильер. Они образуются внезапно и быстро (типичные представители лавинной седиментации, по А.П. Лисицыну), вследствие сейсмических толчков и других причин близ глубинного разлома, разделяющего кордильеру и флишевый трог. Обвальные и оползневые брекчии являются отложениями обвалов и оползней, олистостромы — образованиями развивающихся мутевых потоков.

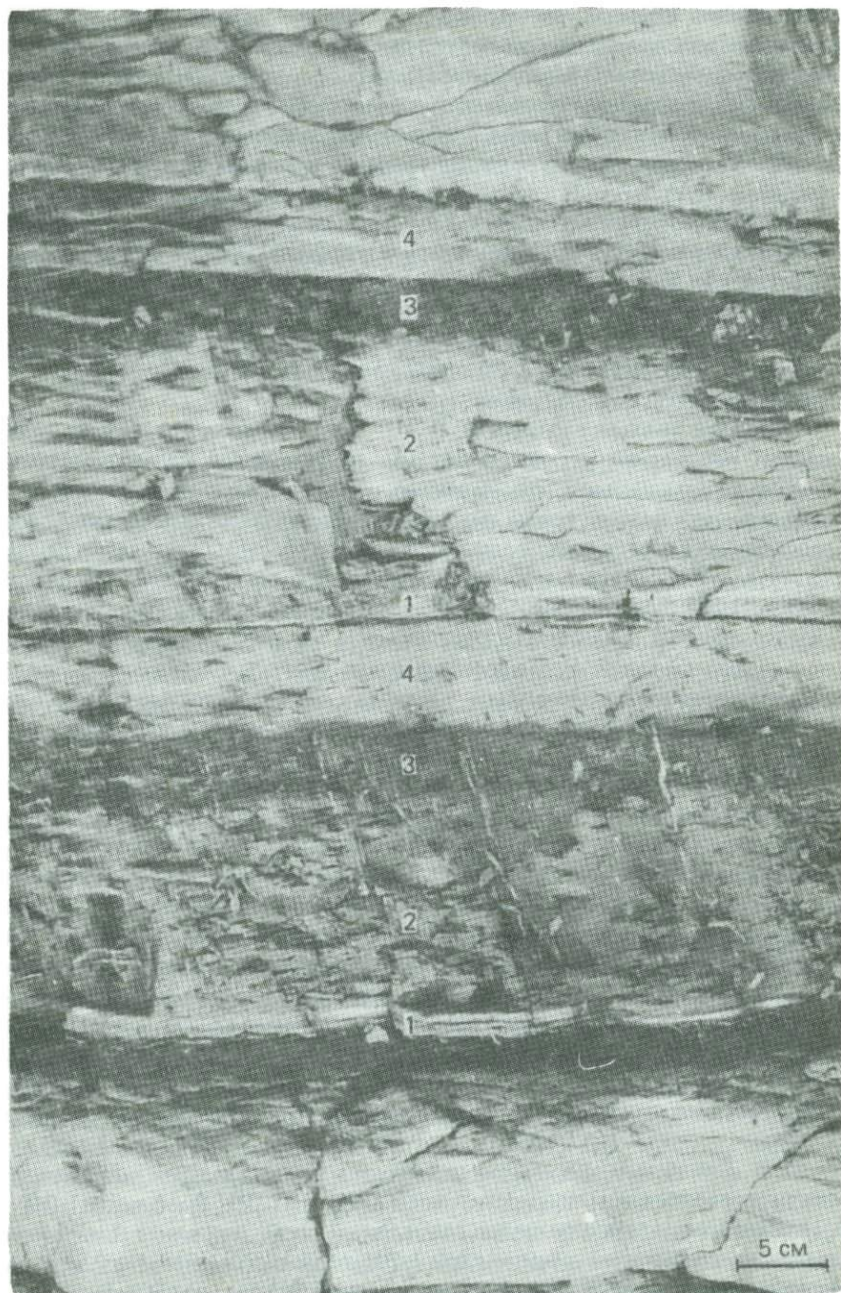
Первый-прим элемент циклита (I' ЭЦ) представлен валунными, галечниковыми и гравийными конгломератами, а также песчаниками и алевролитами, которые генетически не связаны с расположенными над ними прослоями II ЭЦ (коэффициент корреляции r между логарифмами мощности I' ЭЦ и II ЭЦ значимо не отличается от нуля, либо меньше его). Иногда I' ЭЦ вовсе не сопровождаются II ЭЦ: это либо сравнительно крупные, более 1 дм, грубозернистые терригенные неаяксовы образования, либо тонкие, менее 1 дм, слои I' ЭЦ — тонкозернистые терригенные, по-видимому, частично золотые отложения. Они нередко имеют горизонтально-микрослойчатую текстуру, косую или волнистую слойчатость (интервалы b , c , d , по А. Боума). Иногда наблюдается переслаивание кварцево-полевошпатовых алевролитов с известняковыми алевролитами или калькаренитами, что полностью исключает

возможность образования первых из мутевого потока. Эти породы характерны для подводных поднятий и субфлишевых прогибов. Они образуются длительно. Каждая пара микрослоев I' ЭЦ соответствует сезонным изменениям годового цикла седиментации. Конгломераты и песчаники чаще встречаются в эфемерных и временных прогибах кордильер. В осевой части трога приурочены к границам мезо- и макроциклитов (см. табл. 1), часто совпадают с перерывами седиментации. Это, например, пласты песчаников и песков свит кохотх и пенайской, а также подсвиты сукко, или нижненавагирской. Пласты могут рассматриваться как базальные горизонты трансгрессирующих отложений. Алевролиты I' ЭЦ встречаются почти во всех структурно-формационных зонах Кавказского архипелага, но практически отсутствуют вдали от него. Рассматриваемые слои образуются, по-видимому, частично в результате золотой седиментации.

Первый элемент циклита (I ЭЦ), или интервал *a* А. Боума, представлен песчаниками и алевролитами (в том числе калькаренидами) обычно с градационной слойчатостью, нередко с антидюнами, как правило с резкой нижней границей, часто с гиероглифами в основании слоя. Прослой I ЭЦ всегда сопровождаются слоями II ЭЦ и генетически с ними связаны (коэффициент корреляции r между логарифмами мощности I ЭЦ и II ЭЦ существенно больше нуля, чаще $r = 0,3$). Толщина слоев I ЭЦ колеблется в широких пределах, от 1 мм до 5 м. При этом тонкие слои толщиной менее 1 дм характерны для тонкого флиша и представлены, как правило, алевролитами, а крупные слои мощностью свыше 1 дм характерны для грубого флиша и сложены в основном песчаными зернами.

Второй элемент циклита (II ЭЦ), или интервал *e* Р. Хесса, представлен силтами — песчанистыми или алевритистыми пелитолитами (глинами, аргиллитами, мергелями, известняками), реже граувакками — сильноглинистыми или сильномергельными алевролитами и песчаниками, обычно с неявно выраженной градационной слойчатостью. В карбонатной части II ЭЦ содержание раковин микрофауны в среднем составляет 4%. Толщина слоев тесно связана с размером обломков. Слои тоньше 5 дм состоят из частиц со средним размером < 5 мкм, а толще — из частиц и зерен со средним размером > 5 мкм. Самые крупные 5-метровые слои II ЭЦ состоят в основном из песчаных зерен с примесью алевритового и пелитового материала, а также гравийного и галечного. Такие слои мало чем отличаются от олистостромов и генетически тесно с ними связаны.

Для флишевой формации характерна положительная корреляция между логарифмами мощности слоев I ЭЦ и II ЭЦ. Во флише I ЭЦ + II ЭЦ образуют единое целое, *двухединый слой*, или *аякс*. Для тонкого флиша характерны тонкие слои I ЭЦ толщиной менее 1 дм и сравнительно небольшие по мощности прослой II ЭЦ толщиной менее 5 дм.



Для грубого флиша типичны либо крупные, свыше 1 дм слои I ЭЦ, либо мощные, более 5 дм, прослои II ЭЦ. Соответственно, тонкие слои II ЭЦ < 5 дм, лишенные I ЭЦ в основании, относятся к тонкому неаяксовому силту, а крупные слои II ЭЦ > 5 дм без I ЭЦ в их подошве — к грубому.

Грубые флиш и неаяксовый силт характерны для временных прогибов кордильер и прикордильерных краевых зон флишевых геосинклиналей. Редко они встречаются в осевых зонах флишевых трогов, еще реже — во временных прогибах краевых зон близ подводных поднятий. Грубый флиш полностью отсутствует на Закавказском срединном массиве, в Северо-Кавказской миогеосинклинали и в эфемерных прогибах кордильер, хотя пласты грубого силта там встречаются нередко.

Тонкий флиш распространен прежде всего в осевых зонах флишевых геосинклиналей и в субфлишевых прогибах кордильер, реже встречается в краевых зонах трогов и полностью отсутствует в эфемерных прогибах кордильер, в Северо-Кавказской миогеосинклинали и на Закавказском срединном массиве.

Тонкий неаяксовый силт чаще наблюдается в пределах кордильер как во временных, так и в эфемерных прогибах, редко — в осевой части трога и в прикордильерных прогибах краевых зон, еще реже — во временных прогибах краевых зон близ подводных поднятий, а также в Северо-Кавказской миогеосинклинали и на Закавказском срединном массиве.

Общность образования I ЭЦ и II ЭЦ определяется их неразрывным единством в аяксе. Общность образования наиболее крупных слоев II ЭЦ и олистостромов 0 ЭЦ устанавливается сходством состава и строения. Только однажды, в Будугском разрезе Юго-Восточного Кавказа удалось наблюдать полное выклинивание олистостромы и замещение ее слоем песчаника. Косвенное заключение о том, что олистостромы по мере удаления от кордильеры замещаются сначала грубым, а затем тонким флишем, можно сделать, анализируя разрезы, например, нижненатухайской подсвиты разных участков флишевого трога. В Андреевском разрезе преобладают аяксы тонкого флиша; в Папайском, расположенном в прикордильерном временном прогибе, наряду с аяксами тонкого флиша широко развиты аяксы грубого флиша. В самых крайних, Родниковском и Усть-Бешенском разрезах, вплотную прилегающих к кордильере Главного хребта, разрез нижненатухайской подсвиты в

Рис. 14. Два умеренных циклита-близнеца:

1 — известняковые алевролиты I ЭЦ = 5 и 24 мм; 2 — серые слабоглинистые алевролитистые мергели ПБ II ЭЦ = 128 и 126 мм; 3 — темно-серые слабоалевролитистые сильноглинистые мергели ПВ II ЭЦ = 30 и 30 мм; 4 — белые биогенные известняки III ЭЦ = 64 и 42 мм¹

основном сложен 10-метровыми слоями (декаметровыми, или дека-слоями) олистостромов ("циклопами"). И все же сказанное выше не является доказательством образования аяксов грубого флиша из олистостромов.

Используя общенаучный принцип, что в сходных условиях образуются объекты со сходными характеристиками, по В.А. Амбарцумяну, можно по аналогии с диаграммой Герцшпрунга—Рессела "спектр—светимость" составить диаграмму "размер обломков — толщина слоев" [6]. На этой диаграмме четко ограничено поле развития олистостром, I ЭЦ и II ЭЦ, а также I' ЭЦ. В точке диаграммы, где размер зерен равен 0,5 мм, а толщина слоев составляет 5 м, происходит расщепление линии главной последовательности, характерной для олистостром, на две другие линии главных последовательностей, связанных с I ЭЦ и II ЭЦ. Таким образом, по мере развития мутевого потока происходит дифференциация переносимого им обломочного материала. Развивающийся мутевой поток приводит к образованию олистостром, "доаяксовых" слоев 0 ЭЦ. Развитый мутевой поток приводит к образованию аяксов грубого флиша, когда сначала происходит осаждение песчаного материала, а затем — алевросилтового материала II ЭЦ.

Материал мутевых потоков, дошедших до осевых частей флишевых трогов, подхватывается продольным однонаправленным геострофическим среднеглубинным постоянно действующим течением и разносится вдоль трога. При этом образуются аяксы тонкого флиша. Наличие продольного течения для Северо-Западного Кавказа определяется ориентировкой струйчатых или язычковых гиероглифов, указывающих, что на протяжении всего позднего мела в осевой части трога постоянное течение переносило обломочный материал с запад-северо-запада на восток-юго-восток. Вдоль трога наблюдается наилучшая выдержанность слоев.

Тесная связь грубых неаяксового силта и флиша свидетельствует об общности их происхождения из мутевых потоков. Если последние почти не содержат песчаного материала, образования I ЭЦ не происходит (нет для этого "строительного" материала), формируется лишь мощный слой II ЭЦ без I ЭЦ в его подошве. Аналогичное явление наблюдается при образовании тонкого неаяксового силта.

Аяксы грубого флиша часто встречаются в Западно-Озерекинском, Джанхотском и Анапском разрезах. В отложениях васильевской свиты встречаются мощные многометровые слои II ЭЦ с крупной галькой в их основании. Наличие мелкой гальки в основании слоев II ЭЦ снегуревской свиты представляет собой важный диагностирующий признак последней. Аяксы тонкого флиша устанавливаются почти повсеместно, но чаще всего в свитах: васильевской, лихтеровской, цице, анапской, навагирской.

Третий элемент циклита (III ЭЦ), или интервал f Р. Хесса, пред-

ставлен безалевритистыми тонкими пелитолитами (известняками, мергелями, глинами), обычно с фуккоидами, иногда с горизонтально-микрослойчатой текстурой. Средний размер частиц здесь около 1 мкм, примесь алевритового материала не превышает 0,4 % на бескарбонатную часть породы, размер алевритовых зерен по наблюдениям в шлифах составляет в среднем 15 — 20 мкм. Известняковые прослои III ЭЦ содержат относительно много раковинок фораминифер: 4 % на карбонатную часть породы, мергели — в два раза меньше. В глинах встречаются лишь раковинки фораминифер из кремнезема.

Толщина слоев III ЭЦ — лучший эталон геологического времени, поскольку обвальные, оползневые брекчии и олистостромы 0 ЭЦ, аяксы I ЭЦ + II ЭЦ и их дериваты — неаяксовые силты I' ЭЦ, вулканогенные породы IV ЭЦ образуются практически мгновенно, а песчаники и алевролиты I' ЭЦ слагают всего 4 % разреза. При этом скорость их седиментации на порядок выше, чем у преимущественно биогенных пород III ЭЦ. Последних на порядок больше (27 %), чем слоев I' ЭЦ. Таким образом, длительность образования слоев III ЭЦ на два порядка больше, чем время формирования прослоев I' ЭЦ и на много порядков выше, чем остальных разновидностей пород флишевого набора. Итак, продолжительность образования слоев III ЭЦ составляет около 99 % всей геологической истории. Поэтому расчет геологического времени можно проводить в первом приближении с учетом только ядер циклитов (III ЭЦ), пренебрегая их оболочками, включающими 0 ЭЦ, I' ЭЦ, I ЭЦ, II ЭЦ и IV ЭЦ.

Итак, 5-километровая толща верхнемеловых флишевых отложений Новороссийского опорного разреза Северо-Западного Кавказа представлена тремя группами пород по скорости их осадконакопления: а) геологически "мгновенно" формирующимися осадками обвалных, оползневых брекчий и олистостром, составляющих 0,2 % разреза; турбидитов, в том числе аяксов, состоящих из песчаников и алевролитов с градационной слойчатостью (I ЭЦ) и силтов (II ЭЦ), слагающих 61,8 %; вулканогенных пеплов и киллов IV ЭЦ (0,1 %); б) относительно быстро образующимися песчаниками и алевролитами, часто с горизонтально микрослойчатой текстурой (I' ЭЦ), не связанными с мутевыми потоками (4,5 % НОВ); в) медленно накапливающимися пелетта-запелеттой, безалевритистыми илами, которые потом превращаются в пелитолиты — известняки, мергели, глины, аргиллиты — III ЭЦ (33,4 % НОВ).

Допускаем "мгновенное", менее 0,001 млн. лет, образование всех пород первой группы в Новороссийском опорном разрезе, и в связи с этим исключаем их из расчета геологического времени. Во второй группе пород часто наблюдается горизонтально-микрослойчатая текстура. Предполагая, что она связана с сезонной седиментацией, находим средние скорости образования слоев алевролитов I' ЭЦ 425 мкм/год, песчаников 859 мкм/год; и по ним рассчитываем длительность образова-

ния слоев I' ЭЦ в стратонах этого разреза, в частности, в сеномане — дании: $J = 0,36$ млн. лет (см. табл. 10). Сравнивая 0,36 с 33,42 млн. лет (длительностью сеномана — дания по изотопным датировкам), находим, что относительная продолжительность образования слоев I' ЭЦ в разрезе составляет всего 1 % позднемеловой истории. В связи с этим пятый вариант расчета предусматривает интерполяцию по суммарной мощности слоев III ЭЦ, допуская, что скорость их образования была примерно одинаковой. Среднеквадратичная относительная ошибка такого расчета составляет 480 %, несколько приближаясь по точности к изотопному методу и отличаясь от него в шесть раз ($K_2 = 6,05$). Этот вариант рекомендуется применять при интерполяции в однородных отложениях в пределах пачки или пакета.

Шестой вариант седиментологического метода песочных часов аналогичен пятому, но расчет производится по бескарбонатной части III ЭЦ, поскольку на больших глубинах океана кальцит растворяется. При этом допускается примерно одинаковая скорость осадконакопления терригенной части слоев III ЭЦ. Полученные при этом оценки длительности веков позднего мела T_6 отличаются от оценок T_0 в среднем на 0,86 млн. лет, а относительная ошибка в среднем составляет 213 %, превышая ошибку изотопного метода всего лишь в три раза ($K_2 = 2,68$).

Седьмой вариант аналогичен шестому, но здесь учитывается геологическое время образования слоев I' ЭЦ (J , см. табл. 10). Ошибки определения длительности веков в среднем остаются примерно теми же. $T_7 - T_0 = 0,85$ млн. лет, а относительная ошибка уменьшается до 208 %.

Восьмой вариант. В седьмом варианте три оценки длительности поздних веков позднего мела (кампанского, маастрихтского и датского) завышены в среднем на 0,92 млн. лет, в то время как оценки ранних (сеноманского, туронского, коньякского и сантонского) занижены в среднем на 0,69 млн. лет. Это зависит от повышенной скорости седиментации терригенной части слоев III ЭЦ верхних трех ярусов в связи с высокой скоростью осадконакопления всех разновидностей пород вообще и мелких пелитолитов в частности, что хорошо видно на рис. 15, который составлен по материалам Новороссийского и Аймакинского разрезов, где развиты отложения карбонатной формации. На рисунке индексы соответствуют: c, t, cn, s, cp, m, d — ярусам верхнего мела Аймакинского опорного разреза Дагестана, а также свитам Новороссийского опорного разреза Северо-Западного Кавказа, kh — кохотх, av — айвинская, nt — натухайская, gn — гениохская, ah — ахейнская, pn — пенайская, bd — беудиновская, kn — куниковская, ms — мысхако, lh — лихтеровская, vs — васильевская, sn — снегуревская, nv — навагирская, an — анапская, cs — цице. Зависимость скорости седиментации v мкм/год бескарбонатной части преимущественно биогенных пород и продуктов их растворения (лютитов) III-ЭЦ от скорости осадконакопления a мкм/год бескарбонатной части всех тонкодисперсных пород со средним размером

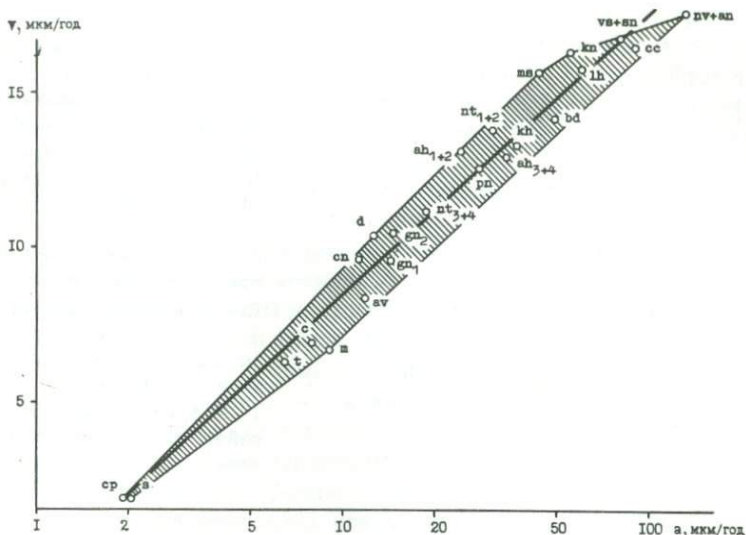


Рис. 15. Зависимость скорости осадконакопления бескарбонатной части преимущественно биогенных пород (а) — от скорости седиментации бескарбонатной части всех тонкодисперсных пород с размером частиц менее: 2 мкм (v)

частиц меньше 2 мкм (образующих слои силтов толщиной не более 250 мм) можно записать в виде:

$$v = 10,48 \lg a - 2,43 \pm 0,13 t. \quad (7)$$

Используя (7), можно для любых верхнемеловых стратонов Большого Кавказа вычислить v и, следовательно, длительность их образования в млн. лет. Так были рассчитаны величины T_8 в табл. 10, которые очень точно, со среднеквадратичной ошибкой 0,23 млн. лет совпали с оценками T_0 длительности веков позднего мела по изотопным данным. Примечательно, что относительные ошибки восьмого варианта в среднем равны 6 %, что в 1,5 раза меньше средних ошибок определения длительности веков по изотопному методу.

Девятый вариант. Все рассмотренные варианты позволяют определять длительность стратонов при интерполяции уже имеющихся данных, полученных изотопным методом. Поиск прямых путей определения геологического возраста в млн. лет начался со статистического анализа толщины слоев III ЭЦ разных стратонов Новороссийского опорного разреза.

В отложениях верхнеананурской подсвиты Андреевского разреза (рис. 16) встречаются преимущественно сантиметровые слои (сантислой) биогенных известняков III ЭЦ; при этом чаще обнаруживаются

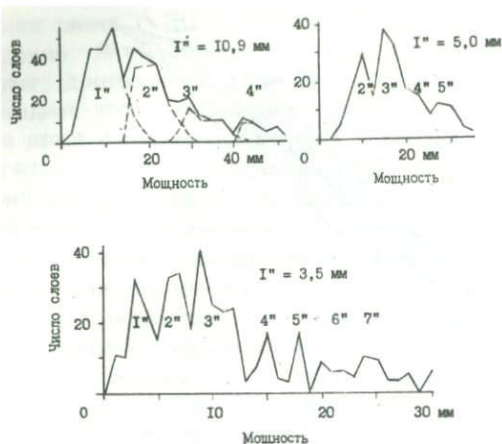


Рис. 16. Частотная кривая мощности слоев III ЭЦ и оценки стандартной толщины элементарных флишевых циклитов 13-го класса, образовавшихся за одну геологическую секунду (1''): 445 слоев известняка III ЭЦ верхнеананурской подсвиты нижнего турона Андреевского разреза, 1'' = 10,9 мм; 206 слоев глины III ЭЦ нижней подсвиты циге верхнего дания Лиманчикского разреза, 1'' = 5,0 мм; 400 слоев глины III ЭЦ гениохской свиты сантона Андреевского разреза, 1'' = 3,5 мм. Новороссийский район Северо-Западного Кавказа

слои, имеющие толщину 8–12, 18–22, 30–38 и 42–45 мм, чем 15, 20–28, 40 мм. Другими словами, частотная кривая мощности слоев распадается на четыре максимума, средние значения которых (11, 22, 33 и 44 мм) пропорциональны числам натурального ряда (1, 2, 3 и 4), что свидетельствует о наличии монад, диад, триад и тетрад – одинарных, сдвоенных, строенных и счетверенных элементарных слоев III ЭЦ. Натуральные циклиты, содержащие монады или элементарные слои III ЭЦ, названы простыми, единичными, или элементарными циклитами 13-го класса (см. табл. 1), которые формировались в течение примерно двух-трех столетий, или одной геологической секунды.

В отложениях верхнедатской нижней подсвиты циге Лиманчикского разреза (см. рис. 16) установлены в основном мелкие сантислои толщиной 1–3 см глины III ЭЦ. При этом чаще обнаруживаются слои, имеющие мощность 10 и 15–18 мм, чем 12 и 20 мм. Другими словами, частотная кривая толщины этих слоев распадается, по крайней мере, на два максимума, средние значения мощности которых (9,5 и 16 мм) пропорциональны числам натурального ряда (2 и 3), что свидетельствует о наличии диад и триад, сдвоенных и строенных элементарных слоев III ЭЦ, соответствующих двум и трем геологическим секундам (геосекундам).

Еще сложнее построена частотная кривая мощности прослоев глины III ЭЦ сантонской гениохской свиты Андреевского разреза (см. рис. 16). Здесь чаще встречаются слои мощностью 3–4, 6–7, 10–12, 15, 18, 20–21, 24–25 мм, чем 5, 8–9, 13–14, 16–17 и 22–23 мм. Первые образуют семь максимумов на частотной кривой со средней толщиной слоев,

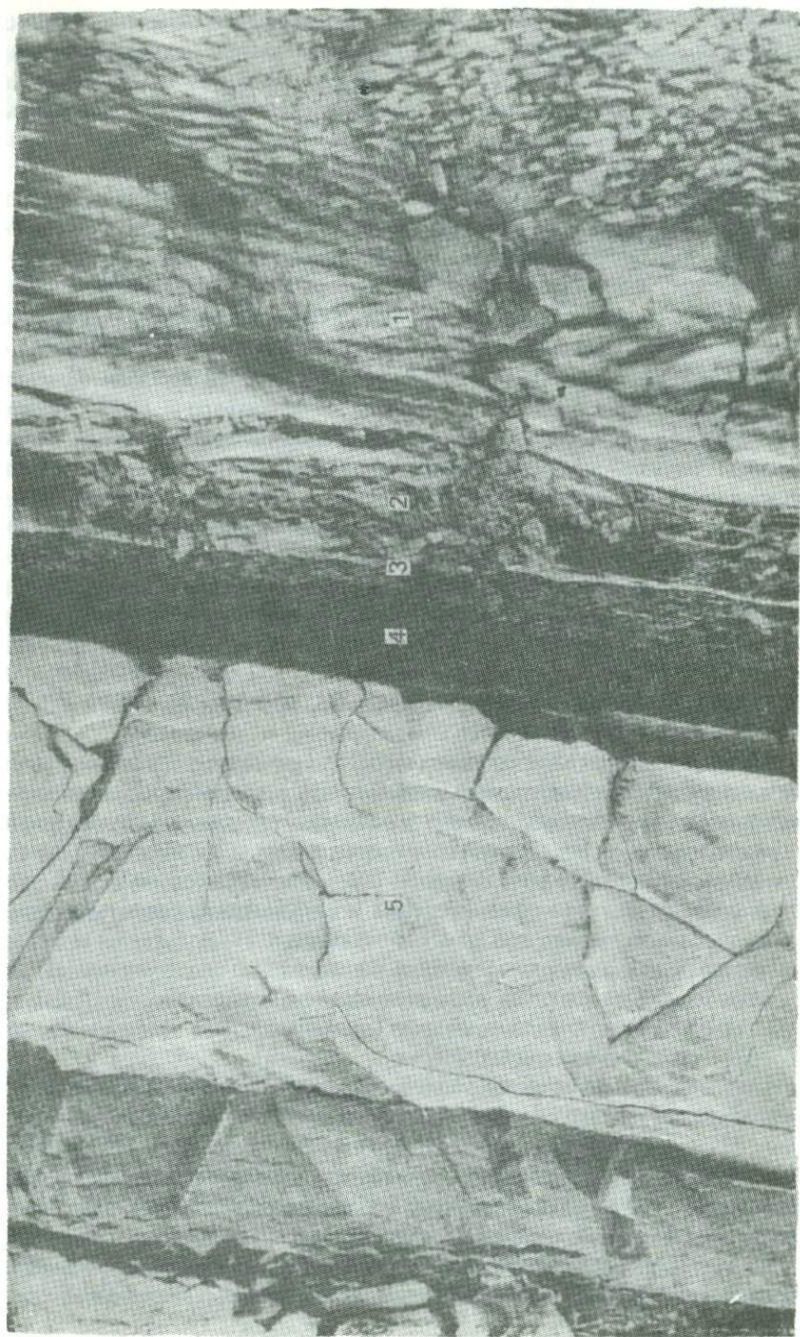
равной 3, 7, 10, 15, 18, 21 и 24 мм. Нетрудно заметить, что соотношения указанных мощностей пропорционально числам натурального ряда, $3 : 7 : 10 : 15 : 18 : 21 : 24 \approx 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7$, что подтверждает наличие единичных, сдвоенных, строенных, счетверенных, спятеренных, шестеренных и семеренных прослоев, или соответственно монад, диад, триад, тетрад, пентад, гексад и септад.

Установлено, что в каждой свите и подсвите верхнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа мощности слоев тех или иных пород III ЭЦ всегда образуют полимодальные частотные кривые, состоящие из ряда максимумов, средние значения которых пропорциональны числам натурального ряда. При этом всегда могут быть вычислены средние мощности единичных прослоев III ЭЦ, соответствующие геологическим секундам. (см. рис. 4, 8, 16; рис. 17, 18). На рис. 19 показан фрагмент центральной части рис. 4 — начало четвертого Ц-11 (индекс 411-232-333-4). Биогенный тонкий инфрафлиш третьей пачки второй подсвиты натухайской свиты верхнего турона Андреевского разреза Новороссийского района Северо-Западного Кавказа. Хорошо видно ритмичное переслаивание серых известняковых алевролитов (1) I ЭЦ, часто с микрослойчатой текстурой, темно-серых алевролитистых сильноглинистых мергелей (2) II ЭЦ, образующих впадины на обнажении, светло-серых биогенных известняков (3) III ЭЦ, слагающих наиболее крупные слои, справа налево: 292, 40, 64, 54 и 38 мм, соответствующие 16", 2", 4", 3" и 2". Характер чередования I ЭЦ + II ЭЦ + III ЭЦ: 2 + 0 + 292, 15 + 24 + 40, 2 + 28 + 0, 4 + 24 + 64, 12 + 10 + 54, 8 + 22 + 0, 64 + 50 + 0, 5 + 16 + 38 мм.

Во многих стратонах прослои III ЭЦ бывают представлены широким спектром безалевролитистых пелитолитов с разной карбонатностью; и для каждой разновидности слоев III ЭЦ могут быть определены оценки мощности монад, соответствующих геосекундам. Так, например, в верхнегениюхской подсвите для слоев III ЭЦ — известняков, слабоизвестковистых и слабоглинистых мергелей и сильноизвестковистых глин — оценки мощности монад соответственно равны: 14,3; 6,2; 5,1 и 3,5 мм. Чем выше карбонатность, тем больше толщина слоев монад III ЭЦ. Но самое главное то, что во всех перечисленных типах пород III ЭЦ толщина бескарбонатной части прослоев монад оказалась практически одинаковой, в среднем равной 2,6 мм.

Аналогичное наблюдается, например, в отложениях свиты мысхако. Здесь монады III ЭЦ представлены известняками, сильноизвестковистыми, слабоизвестковистыми и слабоглинистыми мергелями. Толщина слоев перечисленных разновидностей пород в монадах соответственно равна: 18,5; 12,7; 10,0 и 8,1 мм, а бескарбонатная часть всех монад примерно одинаковая, в среднем равна 4,2 мм.

Слои известняков, сильноизвестковистых и слабоизвестковистых мергелей монад III ЭЦ третьей и четвертой подсвит ахеанской свиты



имеют мощность равную 15,0; 9,2 и 8,4 мм, а бескарбонатная часть всех монад примерно одинаковая, в среднем составляет 3,4 мм и т. д. Во всех свитах и подсвитах верхнемеловых флишевых отложений Северо-Западного Кавказа в монадах III ЭЦ любого состава по карбонатности всегда бескарбонатная часть имеет одинаковую мощность (табл. 11).

По толщине бескарбонатной части всех слоев III ЭЦ в каждой подсвите (см. табл. 11) и средней мощности бескарбонатной части слоев III ЭЦ, образовавшихся за один квант седиментации, который продолжался одну геосекунду (см. рис. 8; рис. 20), нетрудно подсчитать число геосекунд в каждом стратоне. С учетом изотопных датировок рубежей веков позднего мела, числа геосекунд и длительности образования неаяксовых прослоев песчаников и алевролитов I' ЭЦ методом интерполяции легко вычислить продолжительность веков от сеномана до дания T_9 (см. табл. 10). Отклонения этих оценок от изотопных (T_0) в среднем составляют 0,30 млн. лет, относительные ошибки 77%, что совпадает с точностью изотопного метода. Девятый вариант седиментологического метода песочных часов позволил автору предложить шкалу (1982 г.) для веков позднего мела, которая отнесена к категории отличных шкал (см. рис. 13).

Десятый вариант. Продолжительность сеноманского, туронского, коньякского и сантонского веков, определенная по девятому варианту, в среднем на 0,25 млн. лет превышает длительность этих веков, рассчитанную изотопным методом, а продолжительность кампанского, маастрихтского и датского веков, вычисленная также по девятому варианту, в среднем на 0,33 млн. лет меньше длительности этих веков по изотопным данным, что связано с разной длительностью геосекунд в веках позднего мела.

Поставим задачу иначе. По изотопным датировкам границ веков позднего мела и числу геосекунд вычислим продолжительность последних: в сеномане $225 \pm 10 t$, в туроне $228 \pm 5 t$, коньяке $234 \pm 9 t$, сантоне $238 \pm 7 t$, кампане $254 \pm 3 t$, маастрихте $270 \pm 5 t$, дании $286 \pm 12 t$ лет (рис. 21), или в сеномане — сантоне $231,0 \pm 3,1 t$, в кампане — дании $263,4 \pm 2,3 t$ лет. Последние две оценки не совместимы ($t = 8,3$, $Q < 5\%$), что свидетельствует о разной продолжительности геосекунд этих веков.

Для определения оценок длительности геосекунд в разных стратонах рассмотрим развитие среди них наноциклиты, продолжительность

Рис. 17. Два натуральных циклита из третьей пачки второй подсвиты натухайской свиты, в 57 м выше подошвы подсвиты

1 — известняковый песчаник и алевролит I ЭЦ = 110 мм; 2 — алевролитовый слабоглинистый мергель II ЭЦ = 40 мм; 3 — известняковый алевролит I ЭЦ = 8 мм; 4 — алевролитый слабоглинистый мергель II ЭЦ = 35 мм; 5 — высокий известняк III ЭЦ = 162 мм. Длительность образования циклитов девять геосекунд, или 2080 лет, что примерно соответствует одному элементарному циклиту 12-го класса. Верхний турон. Андреевский разрез Северо-Западного Кавказа



которых колеблется от 1 до 120 лет. Начнем с хорошо изученных четвертичных сезонных ленточных глин, или варвов.

В июле 1984 г. автору при содействии С.А. Архипова представилась возможность ознакомиться с десятью разрезами плейстоценовых ленточных глин Ханты-Мансийского района, протянувшихся от пристани Чембакчино на Иртыше до пос. Октябрьский на Оби (табл. 12). Всего изучено 64 м плейстоценовых отложений, представленных переслаиванием милли- и сантислоев песков (30%), алевроитов (17%), безалевроитистых (37%), реже алевроитистых глин (3%), обвалных и оползневых брекчий (13%). Они слагают 5047 натуральных циклитов (НЦ) со средней мощностью 13 мм. В соответствии с принятой системой [8] отнесем обвалы и оползневые брекчии к "нулевому элементу циклита" (0 ЭЦ), пески и алевроиты — к первому-прим (I' ЭЦ), алевроитистые глины — ко второму (II ЭЦ), безалевроитистые глины — к третьему (III ЭЦ). Как и ранее [8], примем толщину слоев III ЭЦ за эталон геологического времени в соответствии с седиментологическим методом песочных часов, а суммарную мощность всех остальных разновидностей пород, деленную на мощность прослоев безалевроитистых глин, — за скорость их накопления (v). Геологические циклы разных классов выделяются по флуктуации последней. В ряду натуральных циклитов с $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ за начало более крупного циклита принимается натуральный циклит с

$$v_j \geq \sqrt{v_{\min} \cdot v_{\max}} \quad (8)$$

В двух разрезах, Карымкарском и Кормужиханском (блок 1), наряду с миллислоями часто встречаются децимиллислои (точнее, слойки), поэтому здесь пришлось измерять толщину последних в децимиллиметрах (дмм). В этих двух разрезах средняя толщина натуральных циклитов равна всего 5 мм. Рассмотрим статистику 2031 слоя безалевроитистой глины III ЭЦ этих разрезов (рис. 22) толщиной от 0,1 до 14 мм. Большинство из них представлено децимиллислойками (61%), реже миллислоями (39%). Встречены два сантислоя (0,1%). Чаще всего встречаются слои (слойки), последние цифры мощности которых равны 2 (422 слоя), 5 (410 слоев), 0 (264) и 8 (248), реже 3 (186), 1 (182), 6 (119), 7 (104), 4 (79) и 9 (17), что связано с ошибками округления.

Рис. 18. Два натуральных циклита стопластовой подсытки (в 1 м от ее подошвы), включающие, справа налево:

1 — серые миллислои известнякового алевролита I ЭЦ = 6 и 2 мм; 2 — темно-серые мелкие сантислои алевроитистого слабоглинистого мергеля II ЭЦ = 9 и 35 мм; 3 — светло-серые мелкие децислои безалевроитистого биогенного высокого известняка III ЭЦ = 155 и 95 мм. Длительность образования этих натуральных циклитов: 10,81'' и 6,63'', или 2636 и 1617, в среднем 2126 ± 640 лет, что примерно соответствует элементарным циклитам 12-го класса

Таблица 11

Расчет длительности образования свит и подсвит верхнего мела Северо-Западного Кавказа

Ярус	Подъярус	Свита	Подсвита	Толщина бескарбонатной части III ЭЦ, мм ¹	Средняя толщина бескарбонатной части слоя III ЭЦ, образовавшегося за геосекунду	Число геосекунд ¹	Длительность образования слоев I' ЭЦ, тыс. лет ¹	Продолжительность образования одного Ц-16, лет	Длительность образования стратона, тыс. лет ²	Геологический возраст, млн. лет ²				
с	1	Кохотх	н	15926	3,103	5132	12	3,416	1825	95,56				
	2		с	10039		3235					14	3,440	736	93,735
t	1	Ананурская	в	18467	2,050	5951	33	3,468	1371	92,999				
			н	2404		1173					12	3,489	277	91,628
			с	312		112					3	3,493	29	91,351
	2	Керкетская	в	2708	1,776	1125	8	3,497	263	91,322				
			н	2682		1510					5	3,505	348	91,059
			в	3398		1913					4	3,515	440	90,711
сп	1	Натухайская	1	14946	3,183	4695	6	3,536	1082	90,271				
			2	12714		3994					5	3,563	929	89,189
сн	2		3	13552	2,695	5029	6	3,592	1074	88,260				
			4 ³	1372		509					1		108	87,189
s	1	Гениохская	н	9200	2,628	3501	3	3,621	947	87,081				
			в	15414		6380					9	3,656	1520	86,134
сп	2		н	21377	2,573	8308	9	3,707	2007	84,614				
			в	10281		3134					8	3,747	770	82,607
ср	1	Ахейнская	1	19401	3,280	5915	17	3,781	1468	81,837				
			2	16224		4827					22	3,821	1220	80,369
			3	17125		5095					41	3,861	1318	79,149

m	1	Пенайская	н	6740	3,334	2022	16	3,890	562	77,831					
			с	6466		1939					14	3,907	506	77,269	
			в	7378		2213					17	3,924	581	76,763	
		2	Бединовская	н	7662	3,770	2032	18	3,942	539	76,182				
				в	12050		3196					7	3,965	831	75,643
				н	15349		3515					13	3,994	925	74,812
	3	Куниковская	с	7001	4,367	1603	1	4,016	424	73,887					
			в	16270		3726					1	4,040	986	73,463	
			н	12198		2871					1	4,069	790	72,477	
		4	Мысхакская	с	12920	4,248	3042	2	4,096	783	71,717				
				в	8485		1997					1	4,120	583	70,934
				н	16655		3807					5	4,148	1039	70,351
5	Лихтеровская	с	10089	4,376	2305	2	4,178	639	69,312						
		в	12119		2769					7	4,203	782	68,673		
		н	5566		1239					0	4,225	391	67,891		
d	2	Васильевская	в	6628	4,492	1476	1	4,240	430	67,500					
			н	9899		2006					1	4,259	618	67,070	
			в	6229		1262					2	4,281	568	66,452	
	3	Снегуревская	н	3308	4,934	683	0	4,298	329	65,884					
			с	4041		835					0	4,310	335	65,555	
			в	6187		4,210					1470	1	4,326	469	65,220
4	Анапская	н	8010	4,485	1786	5	4,348	717	64,751						
		в	7687		1631					1	4,378	840	64,034		
		н	4753		4,514					1053	0	4,402	356	63,194	
5	Цице	с	7160	4,908	1459	0	4,417	433	62,838						
		в	7978		1608					13	4,436	503	62,404		
mn		Горячего ключа	в	7978	4,961	1608	13	4,436	503	61,901					

¹ Без учета размывтой части отложений.² С учетом размывтой части разреза.³ Верхняя часть подсвиты (126 т. л.) относится к сантону.⁴ Нижняя часть подсвиты (35 т. л.) относится к кампану.



Рис. 19. Ритмичное переслаивание алевролитов (1), мергелей (2) и известняков (3)

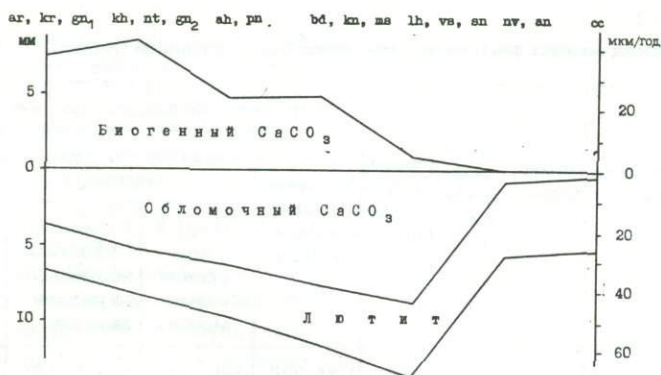


Рис. 20. Состав и мощность наиболее карбонатных слоев третьих элементов флишевых моноциклов 13-го класса, образовавшихся за одну геологическую секунду. Индексы свит те же, что и на рис. 15

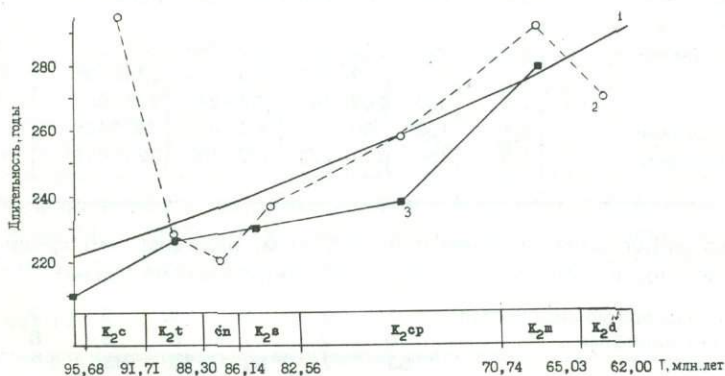


Рис. 21. Длительность геологических секунд (1'') позднего мела по данным затменно-перигелиевых циклов 13-го класса: (1), по толщине слоев биогенных пород и лютитов III ЭЦ в Новороссийском опорном разрезе Северо-Западного Кавказа (2) и средние значения продолжительности геосекунд (3) t лет: $t = 65,7825 \times \frac{c-d}{(a-b) - 2(c-d)}$, $a = 1,00004775611$, $b = 0,00008323$, $c = 0,47450709715$, $d = 0,000438$, T — геологический возраст в млн. лет

Разбив всю совокупность слоев III ЭЦ на группы 1–8, 9–18, 19–28, 29–38, 39–58, 59–140 мм, определим в каждой из них относительную частоту встречаемости слоев, последние цифры мощности которых оканчиваются на 0 и 5; 2 и 8; 1, 3, 4, 6, 7 и 9, по сравнению со средней частотой встречаемости слоев в группе. Допуская, что максимальная

Таблица 12

Геологический возраст ленточных глин плейстоцена Западной Сибири

Наименование разреза	Номер блока	Суммарная мощность глин III ЭЦ, м	Число годовых лент	Геологический возраст, тыс. лет			
				по термолюминесцентному методу, T_0	по затменно-перигелиевым циклам, T		Точность, %
					На 95%-ном уровне значимости	В среднем t -квантиль нормально-го распределения	
Кеушинский	2	5,5	840	130–228	185–188	186,2±0,8t	0,4
Чембакчинский		5,2	794	380–670	469–474	471,7±1,4t	0,3
Елизаровский		3,2	485	100–228	112–131	121,3±4,7t	3,9
Садовологский		1,8	275	380–670	337–497	417±40t	9,6
Чукреевский		1,7	253	83–228	111–235	173±31t	17,9
Воронинский		1,5	231	83–228	155–243	199±22t	11,1
Чукреевский и Воронинский		3,2	484	83–228	152–218	185±17t	9,0
Кормужиханский	1	1,4	202	232–348	199–299	249±25t	10,1
То же	3	1,2	189	203–317	168–284	226±29t	12,8
"	1+3	2,6	397	203–348	228–247	238±5t	2,0
Садовологский	1	1,1	166	380–670	302–474	388±43t	11,0
Карымкарский		1,0	156	172–270	142–306	224±41t	18,4

ошибка округления не превышает 0,5 дмм, находим, что среди 1809 цифр мощности слоев от 1 до 23 дмм 422 округлены на 1 дмм:

последняя цифра мощности слоя	1	1	3	4	6	7	9
округлена до цифры	0	2	2	5	5	8	0
число слоев	53	7	88	53	93	80	48

После устранения ошибок округления по методу наименьших квадратов находим, что статистика количества слоев в первом приближении не противоречит экспоненте $a = 205,1 \cdot 0,8893^x - 1$, где a — ожидаемое число слоев, x — их мощность в децимиллиметрах. Сравнивая n — число слоев (после устранения ошибок округления) с a , находим, что при $Q > 99,95$ % частотная кривая полимодальна. На ней выделяется шесть максимумов со средней мощностью слоев соответственно равной: 2,5, 6,3, 10,0, 12,8, 16,0 и 21,0 дмм. При этом 2,5 : 6,3 : 10,0 : : 12,8 : 16,0 : 21,0 \approx 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 7, что свидетельствует о наличии единичных (монад), двояных (диад), строенных (триад), счетверенных (тетрад), спятеренных (пентад) и всемеренных (секстад) элементарных слоев безалевритистых глин III ЭЦ со средней мощностью $3,13 \pm 0,09 t$ дмм. Отнесем их к циклитам 20-го класса [8].

Для определения циклитов 19-го класса (Ц-19) на основе Ц-20 по изменению соотношения мощности $0 + I' + II$ ЭЦ и III ЭЦ, т.е. по варьирующей скорости седиментации (v) выделим натуральные Ц-19 (НЦ-19) и генерализуем все НЦ-19, где суммарная мощность III ЭЦ ≤ 10 дмм. Получим новую статистику. Построим на ее основе новую частотную кривую. Она полимодальна. По отклонению от сглаженной кривой выделяется шесть максимумов со средними значениями мощности III-ЭЦ: 12,5, 20,0, 28,2, 39,2, 49,0 и 57,5 дмм. При этом $12,5 : 20,0 : 28,2 : 39,2 : 49,0 :$

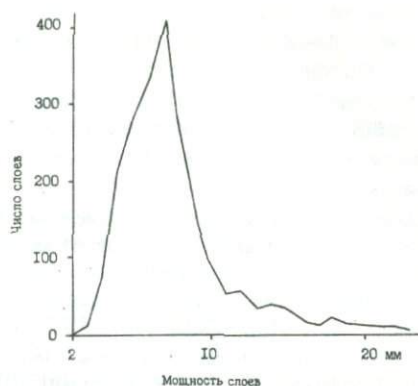


Рис. 22. Частотная кривая милли- и сантислов безалеуритистых глин III ЭЦ плейстоценовых озерно-ледниковых отложений Ханты-Мансийского района

$: 57,5 \approx 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6$, что свидетельствует о наличии моноциклитов, дициклитов, трициклитов, тетрациклитов, пентациклитов и гексациклитов 19-го класса со средней мощностью элементарного Ц-19 (ЭлЦ-19), или моноциклита $9,70 \pm 0,10$ дмм (табл. 13).

Пренебрегая Ц-19, на той же кривой методом последовательных приближений к кривым с нормальным распределением находим четыре других максимума со средними значениями: 24,2, 47,2, 73,6 и 103,0 дмм. При этом $24,2 : 47,2 : 73,6 \approx 1 : 2 : 3 : 4$, что свидетельствует о наличии моноциклитов, дициклитов, трициклитов и тетрациклитов

Таблица 13

Длительность формирования элементарных циклитов 17–20-го классов

Класс циклитов	Средняя толщина слоя глины III ЭЦ; P, дмм	Точность %	Длительность формирования циклитов, T суток		Скорость осадконакопления глин III ЭЦ, дмм/сутки
			с учетом зимней паузы седиментации	без учета зимней паузы седиментации	
ЭлЦ-20	$3,12 \pm 0,9$ т	3	13,66 [1]	$17,4 \pm 0,5$ т	0,2290*
ЭлЦ-19	$9,70 \pm 0,10$ т	1	$42,4 \pm 1,3$ т	$53,9 \pm 1,7$ т	
ЭлЦ-18	$24,25 \pm 0,42$ т	2	$105,9 \pm 3,7$ т	$134,8 \pm 4,7$ т	
ЭлЦ-17	$65,71 \pm 0,62$ т	1	287,0 + пауза	365,24 [1]	

* Весной, летом и осенью.

** В среднем в течение года.

восемнадцатого класса со средней мощностью слоев безалеуритистых глин ЭлЦ-18 $24,25 \pm 0,42t$ дмм (см. табл. 13).

По флуктуации мощности $\bar{O} + I + II$ ЭЦ в рассматриваемых двух разрезах выделим НЦ-17. Объединим их с НЦ-17 остальных разрезов плейстоцена Ханты-Мансийского района. Получим новую, третью статистику. Составим на ее основе частотную кривую (см. рис. 22). Основная часть НЦ-17 (1767 из 2192, или 81 %) образует резко выраженный максимум со средней мощностью III ЭЦ 6,8 мм, который легко отделяется от остальной совокупности НЦ-17 методом последовательных усечений при наилучшем соответствии нормальному распределению. Остальные НЦ-17 слагают серию максимумов, средние значения которых: 13,1, 18,8, 26,0, 32,6, 40,2, 46,2 и 53,3 мм. При этом $6,8 : 13,1 : 18,8 : 26,0 : 32,6 : 40,2 : 46,2 : 53,3 \approx 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8$, что свидетельствует о наличии моноциклитов, дициклитов, . . . октациклитов 17-го класса со средней мощностью ЭлЦ-17 $6,57 \pm 0,06t$ мм. Среди НЦ-17 чаще всего (81 % НЦ-17) встречаются моноциклиты, что послужило основанием для отождествления последних с годовыми циклитами или варвами. Сходные значения стандартной мощности безалеуритистых глин III ЭЦ в варвах обнаружены среди голоценовых ленточных глин Невского разреза под Ленинградом (9 мм), Хемеембинского разреза Финляндии и др.

В табл. 13 показаны средние мощности глин III ЭЦ в ЭлЦ-20, ЭлЦ-19, ЭлЦ-18 и ЭлЦ-17 классов плейстоцена Ханты-Мансийского района (P), оценки точности определения последних (при $t = 1$, $Q = 68\%$) и их длительность в днях (T) из расчета средней продолжительности тропического года в то время 365,24 дня. Для ЭлЦ-20 $T = 17,4 \pm 0,5 t$ дней, что при $Q < 1\%$ противоречит оценке длительности тропического месяца — 13,66 дня — между новолунием и полнолунием. Это, возможно, связано с резким снижением скорости седиментации глин III ЭЦ в зимнее время, продолжавшееся, по нашим расчетам, $78 \pm 9t$ дней. Допуская, что ЭлЦ-20 со стандартной мощностью глин III ЭЦ $3,13 \pm 0,09t$ дней соответствуют половине тропического месяца, определим среднюю скорость накопления последних $v = 0,230 \pm 0,007t$ дмм/день, а также длительность образования ЭлЦ-19: $42,4 \pm 1,3 t$ дня, или $1,39 \pm 0,04 t$ календарного месяца ($1,55 \pm 0,05 t$ тропического лунного месяца); ЭлЦ-18: $106 \pm 4t$ дней, или $3,48 \pm 0,12t \approx 3,5$ календарного месяца. Полученные данные позволяют уточнить длительность пикоциклов [7].

Зная стандартную мощность годового слоя глины III ЭЦ 6,57 мм, легко разбить все изученные разрезы плейстоцена на годовичные ЭлЦ-17, объединив, если это необходимо, смежные ЭлЦ-18 с 2–3-миллиметровыми слоями или полугодовые циклиты с 3–4 мм и, наоборот, разделив многолетние НЦ-17 с прослоями глин III ЭЦ мощностью свыше 11 мм на годовичные с 6–7-миллиметровыми слоями.

Первая генерализация ЭлЦ-17 проводилась путем выделения НЦ-16

по флуктуации мощности $0 + I' + II$ ЭЦ в ЭлЦ-17. Было получено 1012 НЦ-16, из них двухлетних 354, трехлетних 301, четырехлетних 171, пятилетних 69, шестилетних 43 и т. д. При этом количестве двух- и трехлетних НЦ-16 примерно совпадает, а четырехлетних вдвое меньше, что характеризует распределение Пуассона с параметром $\lambda = 1$ и связано со случайными [7] НЦ-16, (пуассон-циклитами), общее число которых (892) составляет 88 %.

Рассмотрим 2500 нормально распределенных случайных чисел [11]. Среди них нами выделено 836 цикла, в том числе в объеме 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 подряд расположенных случайных чисел соответственно 327, 286, 149, 50, 15, 4 и 3 цикла, что не противоречит распределению Пуассона с параметром $\lambda = 1$.

Повторная генерализация пуассон-циклитов проводилась на базе НЦ-16 путем выделения НЦ-16а по флуктуации мощности $0 + I' + II$ Эц в НЦ-16. Было получено 336 НЦ-16а длительностью от 4 до 43 лет, которые образуют полимодальную кривую. При этом подавляющая часть НЦ-16а имеет длительность от 4 до 14 лет (81 %), в среднем около девяти лет (гаусс-циклиты).

Средняя продолжительность случайных циклов равна трем годам. При двойной генерализации получились девятилетние циклы. Не являются ли они также случайными? Рассмотрим 2500 случайных чисел [9]. На их основе получено 836 случайных "циклов" со средним "шагом", равным 2,99 подряд расположенных случайным цифрам. На базе этих 836 случайных "циклов" по флуктуации среднеарифметических значений чисел получены 276 новых "циклов" со средним "шагом", равным 9,06 подряд расположенных случайных чисел.

На основе табл. 5.3 из работы [9] для $\lambda = 1$ находим частоты встречаемости двух-, трех-, четырехлетних и т. д. "циклов", соответственно равные: 0,368, 0,368, 0,184, 0,061 и т. д. Для всех $n = 4, 5, \dots, 16$ находим все разновидности сочетаний из цифр 2, 3, 4, ... 14. Затем в каждой группе "циклов" с определенной "длительностью" n находим все возможные сочетания и суммируем вероятности их появления.

Примем $n = 4$ годам. Один вариант: 2 + 2. Вероятность появления двухлетних "циклов" $p(2) = 0,368$; вероятность образования второго двухлетнего "цикла" $p(2) = 0,368$. $P_4 = p(2) \cdot p(2) \cdot p(2) = 0,368 \times 0,368 \cdot 0,368 = 0,0497868$ — это и есть вероятность появления четырехлетнего "цикла".

Рассмотрим случай, где $n = 5$ годам. Два варианта: 2 + 3 и 3 + 2. $P_5 = p(2) \cdot p(3) \cdot p(2) + p(3) \cdot p(2) \cdot p(2) = 0,368 \cdot 0,368 \cdot 0,368 + 0,368 \cdot 0,368 \cdot 0,368 = 0,0995736$.

Предположим, что $n = 6$ годам. Четыре варианта: 3 + 3, 2 + 4, 4 + 2, 2 + 2 + 2. $P_6 = p(3) \cdot p(3) \cdot p(2) + p(2) \cdot p(4) \cdot p(2) + p(4) \cdot p(2) \cdot p(2) + p(2) \cdot p(2) \cdot p(2) \cdot p(3) = 0,1178891$ и т. д. (табл. 14).

Сравнивая число случайных циклов, полученных по данным табл. 5.3

Л.Н. Большева и Н.В. Смирнова [9] с табл. 14, находим, что резкое отклонение наблюдается только во второй половине табл. 7.16 из работы [9] для "пятилетних" "циклов", где $\chi^2 = (25 - 14)^2 / 14 = 9$, $Q = 0,05$ %. Совпадение остальных оценок удовлетворительное.

Сравнивая статистику 336 НЦ-16а с табл. 14, находим их несоответствие. Кроме того, с помощью метода последовательных усечений находим, что 336 НЦ-16а образуют один основной и два дополнительных максимума со средней длительностью 9,3, 17,8 и 27,0 лет. При этом $9,3 : 17,8 : 27,0 \approx 1 : 2 : 3$, что свидетельствует о наличии моноциклитов, дициклитов и трициклитов 16-го класса со средней продолжительностью образования ЭЦ-16 $P_1 = 9,17 \pm 0,13t$ лет, или $P_1 = 8,92 - 9,43$ года на 95 %-ном уровне значимости. Подставляя эти значения P_1 в уравнение (9)

$$T \text{ млн. лет} = 137,1318 [(47,758078 + 79,289872 P) - \sqrt{(47,758078 + 79,289872 P)^2 - 14,584503 (47,452976 - 5,1033562 P)}], \quad (9)$$

находим, $T_1 = 0 - 2,6$ млн. лет, что свидетельствует о молодом, поздне-плиоценово-четвертичном возрасте изучаемых отложений.

После разделения дициклитов, трициклитов и тетрациклитов 16-го класса соответственно на два, три и четыре ЭлЦ-16 ("девятiletних") выделим 126 НЦ-15 по флуктуации скорости осадконакопления, практически по изменению мощности $0 + I' + II$ ЭЦ в ЭлЦ-16. Статистика 126 НЦ-15: дициклитов 50, трициклитов 44, тетрациклитов 21, пентациклитов 8, гексациклитов 1, октоциклитов 2. В среднем один НЦ-15 состоит

Таблица 14

Вероятность (p) случайного появления циклов 16-го класса той или иной длительности (P) после двойной генерализации годичных циклов

P , лет	4	5	6	7	8	9	10		
$10^6 \cdot p$	49787	99574	117889	121329	118980	109172	93604		
P , лет	11	12	13	14	15	16	17		
$10^6 \cdot p$	76353	59986	45600	33603	24092	16857	11538		
P , лет	18	19	20	21	22	23	24	25	26 и более
$10^6 \cdot p$	7740	5099	3302	2106	1324	821	503	304	437

из 2,98 ЭлЦ-16. Приведенная статистика не противоречит распределению Пуассона с параметром $\lambda = 1$ на высоком уровне значимости ($Q > 80\%$), что свидетельствует о том, что НЦ-15 целиком относятся к категории случайных пуассон-циклитов. Генерализация случайных циклитов проводилась объединением смежных дициклитов, а также частично ди- и трициклитов 16-го класса с учетом резкости границ между ними.

В основной группе разрезов — Елизаровском, Воронинском, Чукреевском и Кеушинском — распределение 54 ЭлЦ-15 (гаусс-циклитов) не противоречит нормальному гауссовскому распределению на уровне значимости $Q > 20\%$. Средняя продолжительность образования ЭлЦ-15 $P_2 = 33,2 \pm 1,1t$ лет, или $P_2 = 31,0 - 35,4$ года на 95 %-ном уровне значимости, что соответствует среднему геологическому возрасту [6] этих отложений $T_2 = 121$ тыс. лет (рис. 23) от 0 до 238 тыс. лет при $Q > 95\%$, т. е. в основном позднем плейстоцену — голоцену. В другой группе разрезов — Чембакчинском и Садовологском — распределение 27 ЭлЦ-15 (гаусс-циклитов) также не противоречит нормальному распределению ($Q > 40\%$). Средняя длительность ЭлЦ-15 $P_2 = 40,6 \pm \pm 2,0$ лет, $P_2 = 36,5 - 44,6$ года на 95 %-ном уровне значимости, что соответствует среднему геологическому возрасту рассматриваемых отложений $T_2 = 463$ тыс. лет, от 292 до 604 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, т. е. раннему — среднему плейстоцену. Таким образом, анализ ЭлЦ-15 позволил уточнить геологический возраст четвертичных ленточных глин до поры. Еще точнее геологический возраст определяется при анализе ЭлЦ-14 и ЭлЦ-13 [6].

В работе Г.Ф. Лунгерсгаузена (1963) на рисунках 5—19 приведены циклограммы мощности 1080 пар годовых слоев (слойков), в том числе: 1) в озерных отложениях, отвечающих концу максимального среднечетвертичного оледенения, — в Чаган-Узунском разрезе; 2) аллювиально-золых комплексах второй половины квартера древней Лены — в Арбынском разрезе; 3) озерных отложений перигляциальной зоны позднечетвертичного оледенения — в Тунгус-Хайатском разрезе; 4) позднеледниковых отложений — в Патагонском разрезе Аргентины; 5) четвертичных отложениях — в Кильустанском разрезе Киргизии; 6) позднеплиоценово-четвертичных травертинах — в Тарбагатайском разрезе Средней Азии; 7) отложениях арагонита — в Агамзолинском разрезе Армении.

На этих разрезах нами были измерены мощности всех годовых пар слоев (слойков), выделены 318 натуральных наноциклитов (ННЦ) длительностью от 2 до 8 лет и проведена их обработка. Статистика этих 318 ННЦ такова: двулетних ННЦ — 107, трехлетних — 102, четырехлетних — 63, пятилетних — 32, шестилетних — 9, семилетних — 2 и восьмилетних — 3. Подавляющая часть (203 из 318, или 66 %) ННЦ продолжалась 2—3 года, что в точности соответствует оценке Г.Ф. Лунгерсгаузена. В то же время 293 ННЦ из 318, или 89 %, имеют статис-

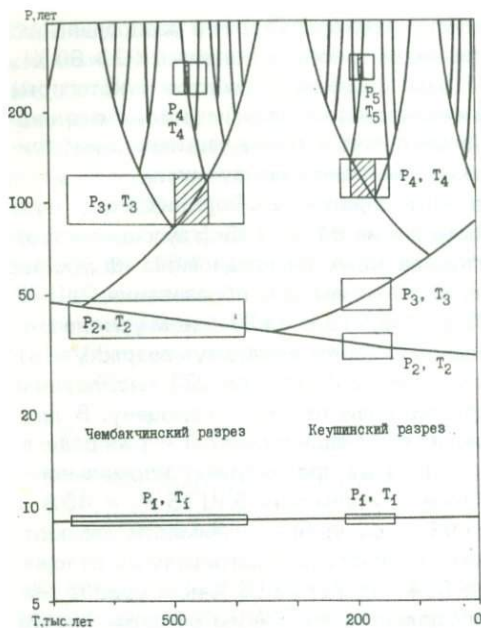


Рис. 23. Два примера определения геологического возраста наноциклитым методом по ленточным глинам Ханты-Мансийского района

После генерализации всех ННЦ на циклограммах выделены границы наноциклитов 16-го класса (НЦ-16) по двум признакам: 1) на рубежах минимумов и максимумов, 2) в кровле ННЦ с длительностью образования $P = 4-8$ лет (в соответствии с "остатком" после вычитания случайных циклитов из генеральной совокупности 318 ННЦ). Интенсивность перехода от минимума к смежному максимуму (или резкость границы) оценивалась величиной $J = \sum \frac{[\bar{x}_i / (x - 1)]^2}{n}$, где n — чис-

ло пар слоев между смежными минимумом и максимумом, включая последние, x_i — толщина i -той пары слоев, x — среднеарифметическая толщина n пар слоев. Резкость границ между смежными максимумом и минимумом на циклограмме при совместном учете обоих признаков оценивалась по формуле $y = P + 3,88J$, полученной при анализе структуры диаграммы совместного распределения обоих признаков, P и J (по J_{\max} для каждого P_i составлялось уравнение регрессии, угловой коэффициент которой совпал с угловыми коэффициентами серий вытянутых сгущений фигуративных точек на этой диаграмме). По минимумам пульсирующей плотности y выделены четыре категории границ по их

тику, характерную для распределения Пуассона с параметром $\lambda = 1$, где двух- и трехлетние циклы составляют по 36,8 % общего их числа, четырехлетние вдвое меньше — 18,4 %, пятилетние еще втрое меньше — 6,1 %, пятилетние еще в четыре раза меньше — 1,5 % и т.д., что характерно для случайных циклитов (пуассон-циклитов).

Незначительное количество (35 из 318, или 11 %) ННЦ ("остаток" после исключения случайных циклитов) имеет распределение близкое к нормальному и среднюю продолжительность образования около пяти лет, совпадающую с оценкой Г.Ф. Лунгерсгаузена. Такие циклиты обнаружены только в двух разрезах: Чаган-Узунском и Арбынском.

резкости: 1) $y_1 > 6,5$ (19 границ); 2) $6,5 > y_2 > 5,02$ (21 граница); 3) $5,02 > y_3 > 3,9$ (86 границ); 4) $y_4 < 3,9$ (196 границ). На первом этапе исключались все границы 4-ой категории. На втором этапе — на циклограмме из двух смежных границ 1–3-ей категории, разделенных одним НЦ, оставлялась только одна, более резкая граница. На третьем этапе анализировалась частотная кривая числа лет между оставленными границами. Она оказалась полимодальной: первый максимум включает 52 НЦ-16 с длительностью образования 5–13, в среднем 9,7 года; второй — 19 НЦ-16 с продолжительностью формирования 14–21, в среднем 16,7 лет, третий состоит из двух НЦ-16 — 30 и 32 года, в среднем 31 год; четвертый — из одного НЦ-16 — 35 лет. Соотношение длительности образования НЦ-16 $9,7 : 16,7 : 31 : 35 \approx 1 : 2 : 3 : 4$, что свидетельствует о наличии 52 монад, 19 диад, двух триад и одной тетрады. На четвертом этапе каждая диада была разделена на два, каждая триада на три и тетрада на четыре элементарных цикла 16-го класса (ЭлЦ-16). В итоге получено 116 ЭлЦ-16, которые образуют статистику, не отличающуюся от нормального распределения (гаусс-циклиты). Средняя длительность образования одной монады, или ЭлЦ-16, оказалась равной $8,9 \pm 0,2t$ года, или 8,6–9,3 года на 95 %-ном уровне значимости, что совпадает с "нетипичными" восьмилетними циклами [20], "ритмами в . . . 8; 9 лет", 9-летними циклами Патагонского разреза (от 4 до 14, в среднем 9,2 года между римскими цифрами — "циклами солнечных пятен"), 8–9-летними циклами Чаган-Узунского и Арбынского разрезов. (Г.Ф. Лунгерсгаузен выделил 42 "периода солнечных пятен", длительность образования которых, от 8 до 17 лет, противоречит нормальному распределению с дефицитом десятилетних и дополнительным максимумом девятилетних циклов. Другими словами, статистика из 42 периодов распадается на две совокупности: десять 8–9-летних и 32 10–17-летних — сдвоенных циклов).

По ЭлЦ-16 для каждого разреза составлены циклограммы, вычислена скорость осадконакопления за каждый ЭлЦ-16, найдены границы НЦ-15, оценена их продолжительность в ЭлЦ-16. Статистика последней не противоречит нормальному распределению. Длительность НЦ-15 колеблется от 21 до 51, составляя в среднем 32 ± 1 год, или 30–35 лет на 95 %-ном уровне значимости, что в точности соответствует оценке из Г.Ф. Лунгерсгаузена 1963 г., что эти циклы отличаются "наибольшим постоянством" и соответствуют "Брюкнеровскому периоду". Они квалифицируются нами как элементарные циклы 15-го класса (ЭлЦ-15).

На циклограммах, построенных на основе ЭлЦ-15, по изменению скорости седиментации отмечено восемь НЦ-14. Длительность их образования имеет статистику, которая не противоречит нормальному распределению, но имеет значительную дисперсию. НЦ-14 квалифицируются как ЭлЦ-14. Продолжительность их образования колеблется от 38 до 107 лет, составляя в среднем $67 \pm 8t$ лет, или 52–82 года на 95 %-ном

уровне значимости, что соответствует 60–70-летним циклам Г.Ф. Лунгерсгаузена.

Итак, в изученных разрезах обнаружен спектр элементарных циклов: $8,9 \pm 0,2 t$, $32 \pm 1t$, $67 \pm 8t$ лет.

В работе М. Саурамо показаны 56 ННЦ голоценовых ленточных глин в разрезе близ железнодорожной станции Хемёенбинна в юго-западной части Финляндии. Основная часть ННЦ представлена здесь также случайными пуассон-циклитами, длительность образования которых оценивается двумя-пятью годами. После их генерализации получены пять ЭлЦ-16 (гаусс-циклитов) со средней продолжительностью образования $9,0 \pm \pm 0,9 t$ года, что совпадает с предыдущими оценками.

На правом берегу р. Невы близ пос. Красная Звезда в 6-метровом разрезе действующего карьера изучена пачка позднечетвертичных ленточных глин, включающая 56 пар слоев алевролитов (песчаников) и глин. По флуктуации суммарной мощности годовичных ННЦ выделено 17 натуральных наноциклитов 16-го класса: пять двухлетних, шесть трехлетних, два четырехлетних и четыре пятилетних. Сравнение полученной статистики с распределением Пуассона с параметром $\lambda = 1$ показывает, что основная часть НЦ-16 относится к категории случайных пуассон-циклитов. После их генерализации получено четыре элементарных гаусс-циклита 16-го класса, длительность образования которых колеблется от 7 до 11, составляя в среднем $9,3 \pm 1,0 t$ год, что не противоречит предыдущим оценкам.

Аналогичные по своей продолжительности циклы получены при анализе рисунков из работы М.В. Стюаса по: 1) наблюдаемым изменениям в длине суток, по Г. Брандверу — $9,2 \pm 0,6 t$ и $33 \pm 10 t$ лет; 2) изменению годового нуля Атлантического океана у Балтимора и Нью-Йорка, по Г. Мармеру — $8,8 \pm 0,5 t$ и 36 лет; 3) по частоте крупных землетрясений, по Г. Беньофу, — $9,0 \pm 1,0 t$ лет. При этом начала девятилетних ЭлЦ-16 в перечисленных работах примерно совпадают и соответствуют 1895, 1906, 1915, 1924, 1933, 1941 годам; а начала ЭлЦ-15 — 1895 и 1933 годам.

Близкие по продолжительности циклы отмечали: И.В. Максимов — по колебанию уровня океана, от 7,7 до 11,6 в среднем 9,7 года; Р. Уорд — по изменению численности канадской рыси, атлантического лосося, зайца-беляка в Канаде, земляных клопов в Иллинойсе, куниц, филинов, соколов, урожаю пшеницы в США, распространению болезней сердца в шт. Новая Англия, США — в среднем 9,6 года.

В целом для современной поры квартера характерны циклы продолжительностью $9,18 \pm 0,11 t$, или 8,96 — 9,40 года на 95 %-ном уровне значимости; составляют они ровно половину сароса — промежутка "времени между двумя группами затмений" — $18,613/2 = 9,31$ тропического года.

Иная продолжительность образования ЭлЦ-15 обнаружена в отложениях другого возраста (табл. 15): 8,37 года в миоцене, 5,83 года

Таблица 15

Длительность наноциклов 16-го класса в некоторых разрезах мира

Разрез	Индекс геологического возраста	Геологический возраст, млн. лет	Ошибка определения возраста, млн. лет	Длительность циклов, лет	Ошибка определения длительности циклов, лет	Число циклов
Ижорский	$V - C$	631	44	4,12	0,11	250
Канско-Тасеевский	C_2	532,75	13,44	12,16	0,28	559
Второго Баку	D_2gv	369,33	5,68	12,75	1,70	51
То же	D_3f_1	361,56	3,31	15,33	2,05	46
Каратауский	J_3km	151,94	3,26	2,40	0,09	73
Андреевский	$ar_3 - nt_1$	90,50	0,24	3,59	0,10	390
Ксанский	mg	90,43	0,21	3,75	0,17	180
Андреевский	$nt_2 + 3$	88,62	0,25	3,94	0,14	187
То же	nt_3	88,02	0,25	3,95	0,17	29
"	$nt_4 - gn_1$	86,11	0,22	3,78	0,14	174
"	gn_1	84,68	0,23	3,47	0,12	32
"	gn	83,93	0,26	3,71	0,12	351
Шехарикский	ah_4	78,90	0,26	3,93	0,23	118
То же	$ah_4 - pn_1$	77,13	0,26	3,91	0,12	254
Мысхакский	ms	70,64	0,23	3,91	0,21	45
Западно-Озерейкинский	$lh - vs$	67,95	0,18	4,02	0,14	330
То же	sn	66,67	0,15	4,36	0,12	547
"	nv	65,89	0,20	4,24	0,06	1699
"	an	64,85	0,32	4,35	0,13	434
"	$an_2 - cc_2$	64,23	0,32	4,34	0,08	1236
Анапский	cc_3	63,48	0,32	4,76	0,26	136
То же	P_{1gk}	60,69	0,34	4,90	0,23	194
Уклинский	P_3ds	33,89	0,33	5,83	0,26	202
Таманский	P_{1cr}	11,20	0,26	8,37	0,29	519
Тарбагатайский	$N_2^2 - Q$	2,38	1,19	9,00	2,26	33
Агамзолинский	$N_2^2 - Q$	2,38	1,19	8,67	0,38	28
Киль-Устунский	Q	0,89	0,44	9,06	0,36	159
Чаган-Узунский	Q_2	0,245	0,070	8,85	0,28	360
Арбынский	Q_2^2	0,175	0,035	9,30	0,41	218
Тунгус-Хайатский	Q_3	0,062	0,021	8,22	0,54	77
Патагонский	Q_4	0,010	0,005	9,00	0,33	205
Хемеенбинский	Q_4	0,010	0,005	9,00	0,90	56
Невский	Q_4	0,010	0,005	9,25	0,97	56

в олигоцене, 4,90 года в палеогене, 3,58—4,76 года в позднем мелу, 2,40 года в поздней юре, 12,25 — 13,33 года в девоне, 12,16 года в кембрии, 4,12 года в венде — кембрии.

Сравнительно простая связь между длительностью образования наноциклита (P) и его геологического возраста (T) (см. табл. 14) сменяется сложным их взаимоотношением при переходе от ЭлЦ-16 к ЭлЦ-15, ЭлЦ-14 и ЭлЦ-13. Расчет уравнения, по которому можно было бы решить прямую задачу — по T найти P , а также обратную — по P определить T , проще всего начать с формулы:

$$S = (a - bT) / (c - dT). \quad (10)$$

Для ЭлНЦ-16:

$$S = 2 + 1/x = M_1/P_1; \quad P_1 + 1/(S - 2). \quad (11, 12)$$

Для ЭлНЦ-15, ЭлНЦ-14 и др.:

$$S = 2 + 1/(3 + 1/x) = M_2/P_2; \quad (13)$$

$$P_2 + 1/(7 - 3S); \quad S = 2 + 1/(4 + 1/x) = M_3/P_3;$$

$$P_3 = 1/(9 - 4S); \quad (14 - 16)$$

$$S = 2 + 1/[3 + 1/(1 + 1/x)] = M_4/P_4; \quad P_4 = 1/(4S - 9) \text{ и т. д., } (17, 18)$$

где S — функция, плавно изменяющаяся от 2,108 в современную пору до 4,239 на границе венды и кембрия; a, b, c, d — искомые параметры; x — переменные, изменяющиеся в пределах от 1 до ∞ ; M_i — числители дробей.

Во всех изученных разрезах (см. табл. 14) для каждого класса наноциклитов по (10—18) определены значения S . Затем, приняв $a = 1$, по методу наименьших квадратов были определены параметры: $a' = 1, b' = 0,000408, c' = 0,47007, d' = 0,0005358$ уравнения (19):

$$S = (1 - 0,000408 T) / (0,47007 - 0,0005358 T). \quad (19)$$

Используя найденные параметры, по формуле

$$P = 67,7035 (a' - b'T) (c' - d'T) / [(a' - b'T) - 2(c' - d'T)], \quad (20)$$

где 67,7035 — среднее число ЭлЦ-16 в одной геосекунде; определим продолжительность последних: в сеномане — 222,6, туроне — 228,4, коньяке — 233,4, сантоне — 237,6, кампане — 252,0, маастрихте — 269,4, дании — 279,0 года. Эти величины в среднем на 3 года не совпадают с оценками, полученными при прямом расчете по $T_0, Ж$ и $И$ (см. табл. 10). При этом средняя относительная ошибка определения продолжительности геосекунд — 5,4 % — в полтора раза меньше средней

относительной ошибки (T_0'/T_0 , см. табл. 10) определения длительности веков позднего мела изотопным методом, что свидетельствует об эффективности определения относительной продолжительности геосекунд по (20). С учетом последней нетрудно вычислить длительность веков: сеномана — 3,93, турона — 3,36, коньяка — 2,12, сантона — 3,51, кампана — 11,62, маастрихта — 4,96 и дания — 3,92 м. л. Эти оценки отличаются от T_0 (см. табл. 10) в среднем на 0,15 м. л., что в два раза меньше $T_0' = 0,30$ м. л. (см. табл. 10) и свидетельствует о высокой эффективности десятого варианта седиментационного метода песочных часов. Итак, продолжительность веков позднего мела определена в десятом варианте с использованием литологических данных при расчете параметров a' , b' , c' , d' в (19), а также изотопных при определении коэффициента 67,7035.

Одиннадцатый вариант. Сравним (19) с (21).

$$S = (1,00004775611 - 0,000083232 T) / (0,47450709715 - 0,000438 T), \quad (21)$$

где $a = 1,00004775611$ — продолжительность аномалистического года в единицах тропических лет, $b = 0,000083232$ — вековое изменение a , $c = 0,47450709715$ — длительность половины драконического года в единицах тропических лет, $d = 0,000438$ — вековое изменение c [1]. Относительное отклонение величин a' , b' , c' и d' , полученных с использованием только литологических данных, от параметров a , b , c , d соответственно равны: 0,390, 1 и 22%. Отличная сходимость a' с a и c' с c позволяет заменить в (19) a' на a и c' на c . После соответствующего пересчета вместо (19) получим (22):

$$S = (1,00004775611 - 0,00007414 T) / (0,47450709715 - 0,0004423 T). \quad (22)$$

Сравнивая (22) и (21), находим, что коэффициент $b'' = 0,00007414$ на 11% меньше $b = 0,000083232$, а параметр $d'' = 0,0004423$ всего на 1% больше $d = 0,000438$, что находится в пределах точности определения как параметров b'' и d'' (22), так и величины d (21), относительная ошибка округления которой $0,00000029/0,000032 = 0,9\%$. Что же касается 11%-ного расхождения b'' и b , то оно, вероятно, связано с неточным определением b'' , в связи с чем целесообразно при расчете длительности наноциклов фанерозоя (P лет) использовать вместо эмпирически найденного уравнения (19) не "улучшенный" его вариант (2), а астрономический (21), как, по-видимому, наиболее точный, поскольку сходимость (19) и (21) свидетельствует о применимости параметров a , b , c , d [1], по крайней мере, для фанерозоя.

Кванты седиментации образуются в результате медленного, pellet-за-pelletтой, накопления безалефритистых лютитовых отложений и раковинок отмирающих микро- и nanoорганизмов между двумя

“революционными” моментами геологического развития в связи с обвалами, оползнями, мутевыми потоками разной плотности. Причина образования последних может быть разной. Часто она связана с приливными воздействиями на атмосферу, гидросферу и литосферу Земли ближайших к ней космических тел, прежде всего Луны и Солнца. Во время новолуний и полнолуний (сизигиев) происходит совпадение фаз лунных и солнечных приливов; в результате происходит “согласованное” воздействие Луны и Солнца на атмосферу (формируются циклоны), гидросферу (образуются приливы с повышенной амплитудой) и литосферу (происходит разгрузка непрерывно накапливающихся напряжений в земной коре в виде сейсмических толчков, землетрясений, повышается вероятность взрыва газа на шахтах).

Плоскости орбит Луны и Земли не параллельны, они пересекаются в двух точках — узлах орбиты. Поэтому во время сизигиев, которые происходят в моменты, когда Земля ближе всего подходит к узлу орбиты, возникают приливные волны повышенной амплитуды. Это случается в среднем каждые 173 дня, точнее $173,3100155 + 0,000016 T'$ эфемеридных суток [1] или $0,47450709715 - 0,000438 T$ тропического года (T' — число юлианских столетий, начиная с 1900 г.), т. е. в среднем каждую половину драконического года во время сизигиев. Зная угол наклона эллипса движения Луны к плоскости эклиптики — $5^{\circ}8, 7'$, находим $\sec 5^{\circ}8, 7' = 1,00018$. Другими словами, при прохождении узлов орбиты приливообразующая сила Солнца возрастает на 0,18 %.

Земля движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом $e = 0,01674$, вследствие чего приливообразующая сила Солнца во время перигелиев возрастает на 0,42 % каждый аномалистический год, длительность которого равна $365,25964134 + 0,00000304 T'$ эфемеридных суток [1] или $1,00004775611 - 0,00008323 T$ тропического года.

Обозначив буквой S отношение продолжительности аномалистического года к длительности половины драконического года, получим (21).

В настоящее время при $T = 0$ $S_0 = 2,1075506818$. Десятичную дробь можно разложить в непрерывную, $S_0 = (2; 9, 3, 2, 1, 4, 6, \dots)$.

В первом приближении $S_0 = (2; \dots) = 2,108/1,000$. Другими словами, на каждый аномалистический год приходится в среднем 2,108 половинок драконических лет. Или, еще конкретнее: каждый год в начале января или конце декабря во время сизигиев в связи с совпадением с перигелиями под воздействием Луны и Солнца образуются максимальные по своей амплитуде приливные волны в атмосфере и гидросфере. Однако годовые затменно-перигелиевые циклы сильно замаскированы другими годовыми циклами: 1) сезонными, 2) циклами изменения скорости вращения Земли. “Максимум скорости вращения довольно близок к тому времени года — середине или концу июня, — когда направление движения Земли по орбите совпадает с проекцией направления движения Солнца в Галактике”. В настоящее время именно в июне—

июле чаще случаются землетрясения, чем в январе—феврале, т. е. как раз наоборот по сравнению с затменно-перигелиевыми циклами. Однако в связи с несовпадением длительности сидерического года с тропическим происходит смещение времени проявления максимума скорости вращения Земли с периодом около 26 тыс. лет. Таким образом, через 13 тыс. лет землетрясения чаще будут наблюдаться в январе—феврале, а еще через 13 тыс. лет — снова в июне—июле.

Рассмотрим ряд простых дробей $P_i = B_i/A_i$ (табл. 16), у которых знаменатель A_i последовательно приравняется числам натурального

Таблица 16

Точность соответствия дробей числу S_0

A_i	B_i	V_i	A_i	B_i	V_i	A_i	B_i	V_i
1	2	20	26	55	269	51	107	222
2	4	20	27	57	592	52	110	269
3	6	20	28	59	5168	53	112	373
4	8	20	29	61	514	54	114	592
5	11	23	30	63	279	55	116	1368
6	13	37	31	65	196	56	118	5168
7	15	60	32	67	153	57	120	921
8	17	121	33	70	154	58	122	514
9	19	592	34	72	209	59	124	360
10	21	279	35	74	313	60	126	279
11	23	127	36	76	592	61	129	293
12	25	87	37	78	3782	62	131	394
13	27	69	38	80	921	63	133	592
14	30	60	39	82	423	64	135	1155
15	32	82	40	84	279	65	137	14903
16	34	121	41	86	211	66	139	1414
17	36	209	42	89	183	67	141	686
18	38	592	43	91	241	68	143	457
19	40	921	44	93	346	69	145	345
20	42	171	45	95	592	70	148	313
21	44	171	46	97	1841	71	150	411
22	46	127	47	99	1805	72	152	592
23	48	102	48	101	623	73	154	1034
24	51	121	49	103	383	74	156	3782
25	53	169	50	105	279	75	158	2384
76	160	921	85	179	1263	94	198	1805
77	162	577	86	181	727	95	200	921
78	164	423	87	183	514	96	202	623
79	166	335	88	185	399	97	204	473
80	169	426	89	188	438	98	207	449
81	171	592	90	190	592	99	209	592
82	173	956	91	192	901	100	211	861
83	175	2387	92	194	1841	101	213	1550
84	177	5168	93	196	88496	102	215	7210

ряда, соответствующих аномалистическим годам, $A_i = 1, 2, \dots, n$, а числитель B_i подбирается в виде целого числа (половин драконических лет) с расчетом наилучшего соответствия величине S_0 получаемой дроби $P_i : B_i = A_i \cdot S_0 \pm C_i$, где $C_i \leq 0,5$. Например, при $A_i = 5$ $B_i = 2,108 \times 5 = 10,538 + 0,462 \approx 11$. Здесь $C_i = +0,462 < 0,5$. Другими словами, пяти аномалистическим годам примерно соответствуют 11 половинок драконических лет (точнее 10,538). Несовпадение этих значений $C_i = 0,462$ половинки драконического года в данном случае очень велико, почти максимальное.

Затем определим точность V_i соответствия полученной дроби числу $S_0 : V_i = S_0 / (P_i - S_0)$. При $A_5 = 5$, $B_5 = 11$, $P_5 = 11/5 = 2,2$, $V_5 = 2,108 / (2,2 - 2,108) = 23$ — одному из наименьших (см. табл. 16) значений V_1 . В табл. 16 видно периодическое изменение V_i с максимальными значениями при $A_i = 9, 19, 28, 37, 46, 56, 65, 74, 84, 93, 102$ аномалистическим годам. В этом ряду разности смежных значений A_i соответственно равны: 9, 10, 9, 9, 9, 10, 9, 9, 10, 9, 9, в среднем $9,27 \pm 0,15t$ аномалистического года. Другими словами, средняя оценка периодичности изменения максимальных величин V_i — 9,27 года.

Если непрерывную дробь S_0 ограничить двумя членами, то получим $S_0 = (2; 9 \dots) = 2 + 1/9,298 \dots = 19,596 \dots / 9,298 \dots$ со знаменателем (9,298 аномалистического года), совпадающим с полученной выше средней оценкой периодичности в $9,27 \pm 0,15t$ аномалистических лет.

Рассмотрим второй ряд простых дробей $P_i = B_i/A_i$ (табл. 17), у которых знаменатель A_i последовательно приравняется целым значениям аномалистических лет: $A_i = 9,298386 (1, 2, 3 \dots n) \pm D_i$, где $D_i \leq 0,5$, а 1, 2, 3...n — числа натурального ряда. Числитель этой дроби подбира-

Таблица 17

Точность соответствия дробей числу S_0

A_i	B_i	V_i	A_i	B_i	V_i	A_i	B_i	V_i
9	19	592	121	255	18727	232	489	10142
19	40	921	130	274	14903	242	510	18727
28	59	5168	139	293	5811	251	529	111111
37	78	3782	149	314	12531	260	548	14903
46	97	1641	158	333	47847	270	569	14728
56	118	5188	167	352	9025	279	588	88496
65	137	14903	177	373	10235	288	607	23923
74	156	3782	186	392	88496	298	628	12531
84	177	5168	195	411	14903	307	647	35842
93	196	88496	205	432	9025	316	666	47847
102	215	7210	214	451	28490			
112	236	5168	223	470	29070			

ется также в виде целого числа (половин драконических лет) с расчетом наилучшего соответствия величине S_0 получаемой дроби $P_j : B_j = A_j \times S_0 \pm C_j$, где $C_j \leq 0,5$. Затем определяется точность V_j соответствия полученной дроби P_j числу $S_0 : V_j = S_0 / (P_j - S_0)$.

В табл. 17 видно периодическое изменение V_j с максимальными значениями V_j при $A_j = 28, 65, 93, 121, 158, 186, 223, 251, 279, 316, 344, 372, 409, 437$ и 465 лет. В этом ряду разности смежных значений A_j соответственно равны: $28, 37, 28, 28, 37, 28, 28, 37, 28, 28, 37, 28, 28, 28, 28, 37, 28, 28$, в среднем $31,00 \pm 1,15t$ лет.

Если непрерывную дробь S_0 ограничить тремя членами, то получим $S_0 = (2; 9, 3, \dots) = 2 + 1/(9 + 1/3,356\dots) = 65,771/31,207$ со знаменателем 31,207 года, совпадающим с полученной выше оценкой (31,00 год).

Рассмотрим третий ряд простых дробей (полужирным шрифтом в табл. 17), составленных по изложенному выше методу. По максимальным значениям V_j среди них выделяются: $196/93, 392/186, 529/251, 725/344, 921/437$. Знаменатели этих дробей — 93, 186, 251, 344 и 437 лет — отличаются друг от друга соответственно на 93, 93, 65, 93 и 93 года, в среднем на $87,4 \pm 6,0 t$ лет.

Если непрерывную дробь S_0 ограничить четырьмя членами, то получим $S_0 = (2; 9, 3, 2, \dots) = 184, 56\dots/87,58\dots$ со знаменателем 87,58 лет, совпадающим с полученной выше оценкой 87,40 года.

По количеству членов непрерывной дроби назовем вторым приближением $S_0 = 19,596/9,298$, третьим $S_0 = 65,771/31,207$, четвертым $S_0 = 184,56/87,58$. По аналогии с этим назовем пятым приближением $S_0 = (2; 9, 3, 2, 1, \dots) = 828,9/108,6$, шестым $S_0 = (2; 9, 3, 2, 1, 4, \dots) = 952,2/451,8$ и т. д.

Итак, под воздействием приливообразующих сил Луны и Солнца на литосферу, гидросферу и атмосферу на Земле генерируются затменно-перигелиевые циклы продолжительностью 1,000; 9,298; 31,207; 87,58; 108,6 и 451,8 года. Естественно, что для разных отрезков геологической истории были получены разные спектры затменно-перигелиевых циклов.

На рис. 24 показаны спектры меловых-кайнозойских затменно-перигелиевых наноциклов 16-, 15- и 14-го классов. P лет — продолжительность наноциклов, T млн. лет — геологический возраст. Аномалистический год: $1,00004775611 - 0,00008323 T$ тропического года. Половина драконического года: $0,47450709715 - 0,000438 T$ тропического года. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 — нижние "ветви"; 31, 41, 42, 51, 61, 71, 81, 91 — вторые "ветви"; 411 — третьи "ветви" и т. д. Века раннемеловой эпохи: Г — готеривский, Бар — барремский; позднемеловой: С — сенонанский, Т — туронский, К — коньякский, Са — сантонский, М — маастрихтский, Д — датский; палеогена: М — монтский, Тан — танетский, Ип — ипский, Лют — лютетский, Б — бартонский, П — приабонский, Р — рупельс-

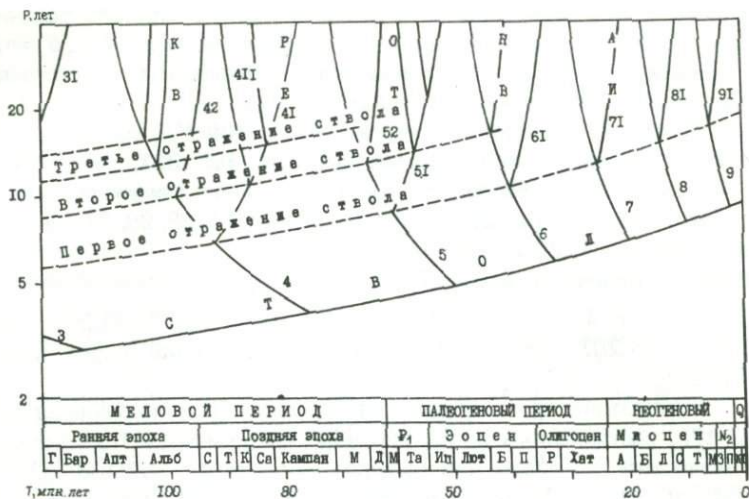


Рис. 24. Спектры меловых — кайнозойских затменно-перигелиевых наноциклов

кий; неогена: А — аквитанский, Б — бурдигальский, Л — лангий, С — сарраваллий, Т — тортон; М — мессиний, З — занклий, П — пьяченций; четвертичного периода: К — калабрий, С — сицилий. На рис. 24 хорошо видны циклы, полученные при "вторых приближениях". Они образуют нижнюю наклонную линию, названную нами "стволом". Длительность этих циклов изменяется от 1,99 до 2,18 лет в средней юре, от 2,18 до 2,55 в поздней юре, от 2,55 до 3,39 в раннем мелу, от 3,39 до 4,40 в позднем мелу, от 4,40 до 4,74 в палеоцене, от 4,74 до 5,74 в эоцене, от 5,74 до 6,61 в олигоцене, от 6,61 до 8,11 в миоцене, от 8,11 до 9,04 в плиоцене, от 9,04 до 9,28 года в квартере. Циклы, полученные при "третьих приближениях", образуют на рис. 24 линии, ответвляющиеся от "стволом". Они названы "первыми ветвями" (на рис. 24 цифры: 3, 4, 5. . .). Циклы, полученные при "четвертых приближениях" образуют ответвления от "первых ветвей". Они названы "вторыми ветвями" (на рис. 24 цифры: 31, 41, 42. . .). Циклы, полученные при "пятых приближениях", образуют "третьи ветви" (411 на рис. 24) и т. д. При этом циклы, полученные при шестых, седьмых, восьмых и т. д. приближениях, образуют очень густую сеть "ветвей", или "крону". Расчет затменно-перигелиевых циклов проводился нами на ЭВМ ЕС-1022 для всего фанерозоя. На рис. 25 показаны спектры фанерозойских затменно-перигелиевых наноциклов 16- и 15-го классов. Условные обозначения: P — длительность наноциклов 16- и 15-го классов в годах; T млн. лет — геологический возраст. P (Ран) — ранняя, С (Ср) — средняя, П (Позд) — поздняя эпоха. S — соотношение продолжительности ано-

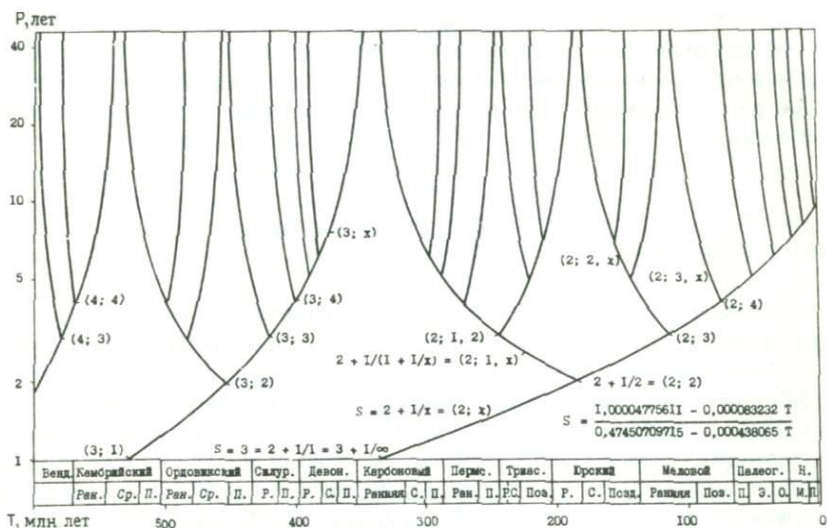


Рис. 25. Спектры фанерозойских затменно-перигелиевых наноциклов

малистического года к длительности половины драконического года, $S = (1,00004775611 - 0,00008323 T) / (0,47450709715 - 0,000438 T)$; x — переменная величина, изменяющаяся от +1 до $+\infty$. $S = 2 + 1/x$ — уравнение кривой, $S = (2; x)$ — то же самое, записанное в виде непрерывной дроби. Н — неогеновый период. Р — ранняя, С — средняя; П — поздняя эпоха.

С учетом (21), а также Ж и И табл. 10 определим длительность веков позднего мела T_{10} , которые отличаются от изотопных оценок T_0 в среднем на 0,11 м. л. — величину в два с половиной раза меньше по сравнению с $T_0' \approx 0,30$ м. л. Точно так же относительная ошибка определения T_{10} составляет 3,1%, что в два с половиной раза меньше относительной ошибки определения длительности веков позднего мела изотопным методом (7,9%). Точность одиннадцатого варианта несколько выше точности десятого, поэтому он предпочтительнее. Поскольку рассматриваемый вариант приводит к высокоточным оценкам, произведен пересмотр изотопных датировок границ веков позднего мела и рекомендованы следующие оценки начала веков: туронского 91,63 м. л., коньякского 88,26, сантонского 86,26, кампанского 82,61, маастрихтского 70,90, датского 65,88, монского 61,90 (см. табл. 3), которые рассчитаны с учетом A , T_0 , T_0' , T_{10} (см. табл. 10) и (21) (см. рис. 21). В итоге получены оценки T_{11} , которые отличаются от T_0 в среднем на 0,09 м. л., что свидетельствует о наилучшей их сходимости (см. табл. 10).

Таким образом, одиннадцатый вариант седиментологического метода песочных часов подтвердил оценки, полученные изотопным методом, и что самое важное, уточнил их в два с половиной раза, поскольку при расчете каждой границы учитывалось семь датировок рубежей веков, в $1/\sqrt{7} = 0,38 \approx K_{1,2}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА ПО НАНОЦИКЛИТАМ (НАНОЦИКЛИТНЫЙ МЕТОД)

Уравнение (21) может быть использовано для определения геологического возраста по наноциклитам, микрослойкам, слоям соли.

Так, например, Кеушинский разрез вскрывает ленточные глины (840 годичных лент), которые залегают с размывом на среднеплейстоценовой самаровской морене и постепенно сменяются отложениями тазовской морены, относящимися к верхам среднего плейстоцена. Термолюминесцентным методом геологический возраст ленточных глин определен в интервале $T_0 = 130 - 228$ тыс. лет. В соответствии с затменно-перигелиевыми циклами [6] для указанного временного интервала характерен следующий спектр геологических циклов (см. рис. 23): 9,26 - 9,28 лет (ЭлЦ-16), 33,4 - 35,2 года (ЭлЦ-15), 44,0 - 56,0 лет (ЭлЦ-14), 82,6 - 176,2 года (ЭлЦ-13) от 140 лет и более (ЭлЦ-12).

Среди ленточных глин этого разреза выделено 25 ЭлЦ-15 со средней продолжительностью $P_2 = 33,6 \pm 1,5$ t года, $P_2 = 30,5 - 36,7$ лет на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-15 геологический возраст определяется как $\bar{T}_2 = 143 \pm 75$ t тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой равной 52 %, или в интервале $T_2 = 0 - 299$ тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости. В том же разрезе обнаружено 17 ЭлЦ-14 со средней продолжительностью $\bar{P}_3 = 49,4 \pm 3,0$ t года, или $P_3 = 43,4 - 55,4$ года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-14 средний геологический возраст $\bar{T}_3 = 178 \pm 25$ t тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 14 %, или в интервале $T_3 = 134 - 234$ тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, что примерно совпадает с датировкой по термолюминесцентному методу ($T_0 = 130 - 228$ тыс. лет).

Здесь же выделено семь ЭлЦ-13 со средней продолжительностью $\bar{P}_4 = 120 \pm 9$ t лет, или $P_4 = 102 - 138$ лет на 95 %-ном уровне значимости. По этим ЭлЦ-13 средний геологический возраст $\bar{T}_4 = 187 \pm 10$ t тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 5,2 %, или $T_4 = 165 - 204$ тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, что в 2,5 раза точнее по сравнению с датировкой по термолюминесцентному методу. Еще точнее определен геологический возраст по трем ЭлЦ-12 со средней длительностью $\bar{P}_5 = 280 \pm 13$ t лет, или $P_5 = 254 - 306$ лет на 95 %-ном уровне значимости. Такие ЭлЦ-12 характерны для очень узкого интервала геологического возраста, от 184,5 до 187,9 тыс. лет на 95 %-ном

уровне значимости при среднем значении $\bar{T}_5 = 186,2 \pm 0,8$ т тыс. лет. Итак, геологический возраст ленточных глин Кеушинского разреза определен со среднеквадратичной ошибкой в 0,5 %, т. е. в 31 раз точнее, чем по термолюминесцентному методу.

Чембакчинский разрез включает 794 годовые ленты глин семейкинской свиты, геологический возраст которой определен термолюминесцентным методом в интервале $T_0 = 380 - 670$ тыс. лет.

В соответствии с затменно-перигелиевыми циклами [6] для этого интервала времени характерны следующие геологические циклы (см. рис. 23): 9,20 – 9,24 года (ЭлЦ-16), 38,5 – 46,8 года (ЭлЦ-15), 46 – 234 года (ЭлЦ-14), от 84 лет и более (ЭлЦ-13). Среди ленточных глин Чембакчинского разреза выделено 17 ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 41,8 \pm 3,0$ т года, или 35,8 – 47,9 года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-15 средний геологический возраст $\bar{T}_2 = 510 \pm 111$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 22 %, или 258 – 703 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, что примерно совпадает с датировкой по термолюминесцентному методу. В том же разрезе установлено семь ЭлЦ-14 со средней длительностью $\bar{P}_3 = 104 \pm 10$ т лет, или $P_3 = 85 - 123$ года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-14 средний геологический возраст $\bar{T}_3 = 462 \pm 14$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 3,0 %, или 439 – 494 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, что в пять раз точнее по сравнению с термолюминесцентным методом. Наиболее точно геологический возраст глин семейкинской свиты Чембакчинского разреза определен по двум ЭлЦ-13 со средней длительностью $\bar{P}_4 = 262 \pm 16$ т лет (249 и 274 года). По этим ЭлЦ-13 средний геологический возраст $\bar{T}_4 = 471,8 \pm 1,4$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 0,3 %, или 468,8 – 474,3 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, что в 52 раза точнее по сравнению с датировкой по термолюминесцентному методу.

Елизаровский разрез вскрывает озерно-ледниковые отложения (485 годовых лент), геологический возраст которых по термолюминесцентному методу определен в интервале $T_0 = 100 - 220$ тыс. лет. В соответствии с затменно-перигелиевыми циклами [6] для этого временного интервала характерен следующий спектр геологических циклов: 9,26 – 9,28 года (ЭлЦ-16), 32,8–35,0 лет (ЭлЦ-15), 44,8 – 61,1 года (ЭлЦ-14), 71–161 год (ЭлЦ-13), от 102 лет и более (ЭлЦ-12).

Среди ленточных глин Елизаровского разреза выделено 14 слоев глин ЭлЦ-14 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 34,6 \pm 2,3$ т года, или $P_2 = 30,0 - 39,3$ года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-16 средний геологический возраст $\bar{T}_2 = 199 \pm 104$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 52 %, или 0 – 414 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости. В том же разрезе обнаружено восемь ЭлЦ-14 со средней длительностью $\bar{P}_3 = 60,6 \pm 3,3$ т года, или $P_3 = 54,0 - 67,2$ года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-14 средний геологический возраст

$\bar{T}_3 = 102 \pm 18$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 18 %, или 70–143 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, в два раза точнее по сравнению с датировкой по термолюминесцентному методу. Здесь же определено шесть ЭлЦ-13 со средней длительностью $\bar{P}_4 = 81 \pm 11$ т лет, или $P_4 = 59 - 103$ года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-13 средний геологический возраст $\bar{T}_4 = 126 \pm 22$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 17 %, или 79 – 166 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, также в два раза точнее, чем по термолюминесцентному методу.

Наиболее точно геологический возраст ленточных глин Елизаровского разреза установлен по двум ЭлЦ-12 длительностью $P_5 = 188$ и 226 лет, в среднем $\bar{P}_5 = 207 \pm 24$ т лет. По этим двум ЭлЦ-12 геологический возраст $\bar{T}_5 = 122 \pm 5$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 4,1 %, или 115 – 135 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, т. е. в семь раз точнее, чем по термолюминесцентному методу.

Второй блок Садовологского разреза включает 275 годичных лент верхней части семейкинской свиты, геологический возраст которой определен термолюминесцентным методом в интервале 380 – 670 тыс. лет. Как и в Чембакчинском разрезе для этого интервала времени характерен следующий спектр геологических циклов: 9,20 – 9,24 года (ЭлЦ-16), 38,5 – 46,8 года (ЭлЦ-15), 46 – 234 года (ЭлЦ-14).

Среди ленточных глин второго блока 2 этого разреза обнаружено шесть ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 40,7 \pm 3,2$ т года, или 34,2 – 47,2 года на 95 %-ном уровне значимости. По ЭлЦ-15 средний геологический возраст $\bar{T}_2 = 468 \pm 126$ т тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 27 %, или 174 – 680 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости. Кроме ЭлЦ-15 здесь установлен один ЭлЦ-14 длительностью $P_3 = 158 \pm 46$ т лет, что соответствует геологическому возрасту $T_3 = 376 - 543$ тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, в среднем $\bar{T}_3 = 411 \pm 42$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 10 %. В итоге геологический возраст по затменно-перигелиевым циклам [6] установлен в интервале 337–497 тыс. лет на 95 %-ном уровне значимости, в среднем $\bar{T} = 417 \pm 40$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 10 %, что в два раза точнее термолюминесцентного метода.

Чукреевский разрез состоит из 253 годичных лент глинисто-песчаных отложений, которые залегают на водно-ледниковых среднеплейстоценовых образованиях и перекрываются лессами. Геологический возраст по термолюминесцентному методу определен в интервале $T_0 = 83 - 228$ тыс. лет. Для этого возраста характерен спектр геологических циклов: 9,26 – 9,29 года (ЭлЦ-16), 32,6 – 35,2 года (ЭлЦ-13), 44,0 – 64,3 года (ЭлЦ-14), 66–176 лет (ЭлЦ-13).

Среди ленточных глинисто-песчаных отложений Чукреевского разреза обнаружено семь ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 33,9 \pm 4,0$ т года, или $P_2 = 25,8 - 41,9$ года на 95 %-ном уровне значимости.

По ЭлЦ-15 геологический возраст установлен $T_2 = 0 - 513$ тыс. лет; в среднем $\bar{T}_2 = 157 \pm 128$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 82 %. По четырем ЭлЦ-14 со средней длительностью $\bar{P}_3 = 53,8 \pm 6,7$ т года, или $P_3 = 40,3 - 67,2$ года на 95 %-ном уровне значимости установлен геологический возраст $T_3 = 70 - 270$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T}_3 = 145 \pm 50$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 34 %. И наконец, по двум ЭлЦ-13 длительностью $P_4 = 93$ и 160 лет, в среднем $P_4 = 126 \pm 42$ года определен геологический возраст $T_4 = 79 - 242$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T}_4 = 173 \pm 31$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 21 %. По указанным датировкам установлен геологический возраст $T = 111 - 235$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T} = 173 \pm 31$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 18 %, т. е. примерно такой же, как по термолюминесцентному методу.

Воронинский разрез сложен 231 годичной лентой глинисто-песчаных отложений, геологический возраст которых установлен по термолюминесцентному методу $T_0 = 83 - 228$ тыс. лет. Для этого возраста характерен спектр геологических циклов: 9,26 - 9,29 года (ЭлЦ-16), 32,6 - 35,2 года (ЭлЦ-15), 44 - 64,3 года (ЭлЦ-14), 66 - 176 лет (ЭлЦ-13).

Среди ленточных глинисто-песчаных отложений Воронинского разреза обнаружено шесть ЭлЦ-15 со средней длительностью $P_2 = 35,8 \pm 3,2$ т года, или $P_2 = 29,4 - 42,3$ года ($Q > 95$ %). По ЭлЦ-15 геологический возраст установлен $T_2 = 0 - 526$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T}_2 = 260 \pm 132$ т со среднеквадратичной ошибкой 51 %. По пяти ЭлЦ-14 со средней продолжительностью $\bar{P}_3 = 46,2 \pm 2,9$ т года, или $P_3 = 40,3 - 52,1$ года ($Q > 95$ %) геологический возраст определен $T_3 = 157 - 270$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $T_3 = 206 \pm 28$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 14 %. По двум ЭлЦ-13 длительностью $P_4 = 92$ и 139 лет, в среднем $\bar{P}_4 = 116 \pm 29$ т лет геологический возраст определен $T_4 = 79 - 227$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T}_4 = 183 \pm 37$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 30 %. С учетом ЭлЦ всех классов геологический возраст глинисто-песчаных отложений Воронинского разреза установлен $T = 155 - 243$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T} = 199 \pm 22$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 11 % и с точностью в 1,6 раза большей по сравнению с термолюминесцентным методом.

Поскольку в Чукреевском и Воронинском разрезах вскрыта примерно одна и та же пачка глинисто-песчаных отложений, уточним ее возраст при совместном рассмотрении обоих разрезов. По 13 ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 34,8 \pm 2,5$ т года, или $P_2 = 29,8 - 39,7$ года ($Q > 95$ %) определен геологический возраст $T_2 = 0 - 434$ тыс. лет ($Q > 95$ %), в среднем $\bar{T}_2 = 206 \pm 108$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 53 %. По девяти ЭлЦ-14 со средней продолжительностью образования $\bar{P}_3 = 49,6 \pm 3,3$ т года, или $P_3 = 43,0 - 56,2$ года ($Q >$

$> 95 \%$) геологический возраст установлен $T_3 = 129 - 239$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_3 = 177 \pm 28 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 16 %. По четырем ЭлЦ-13 со средней длительностью образования $\bar{P}_4 = 121 \pm 18 t$ лет, или $P_4 = 84 - 158$ лет ($Q > 95 \%$), геологический возраст $T_4 = 133 - 218$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_4 = 189 \pm \pm 21 t$ тыс. лет определен со среднеквадратичной ошибкой 11 %. И наконец, с учетом всего спектра циклитов геологический возраст $T = 152 - 218$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T} = 185 \pm 17 t$ тыс. лет установлен со среднеквадратичной ошибкой 9 %, в два раза точнее чем по термолюминесцентному методу.

Первый блок Кормужиханского разреза сложен 208 годичными лентами глинисто-песчаных отложений, геологический возраст которых по термолюминесцентному методу определен как $T_0 = 232 - 348$ тыс. лет. Для этого возраста характерен спектр геологических циклов: 9,25 - 9,26 года (ЭлЦ-16), 35,3 - 37,7 года (ЭлЦ-15), 37,0 - 43,6 года (ЭлЦ-14), 185 лет и более (ЭлЦ-13).

Среди ленточных глинисто-песчаных отложений первого блока этого разреза обнаружено пять ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 38,2 \pm 4,2 t$ года, или $P_2 = 29,7 - 46,7$ года ($Q > 95 \%$), которые позволили определить геологический возраст $T_2 = 0 - 666$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_2 = 368 \pm 166 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 45 %. По пяти ЭлЦ-14 со средней продолжительностью $\bar{P}_3 = 41,6 \pm 5,9 t$ года, или $P_3 = 29,9 - 53,3$ года ($Q > 95 \%$) определен геологический возраст $T_3 = 148 - 320$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_3 = 255 \pm 43 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 17 %. По одному ЭлЦ-13 длительностью $P_4 = 208 \pm 60 t$ лет определен геологический возраст $T_4 = 199 - 299$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_4 = 249 \pm \pm 25 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 10 %, в два раза точнее, чем термолюминесцентным методом.

Третий блок Кормужиханского разреза представлен 189 годичными лентами глинисто-песчаных отложений, геологический возраст которых по термолюминесцентному методу определен как $T_0 = 203 - 317$ тыс. лет. Для этого возраста характерен спектр геологических циклов: 9,25 - 9,27 года (ЭлЦ-16), 34,7 - 37,0 года (ЭлЦ-15), 37,0 - 46,6 года (ЭлЦ-14), свыше 137 лет (ЭлЦ-13).

Среди ленточных глинисто-песчаных отложений третьего блока Кормужиханского разреза обнаружено пять ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 37,8 \pm 5,3 t$ года, или $P_2 = 27,1 - 48,5$ года ($Q > 95 \%$), которые позволяют определить геологический возраст $T_2 = 0 - 716$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $T_2 = 352 \pm 179 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 51 %. По четырем ЭлЦ-14 со средней длительностью $\bar{P}_3 = 47,2 \pm 5,8 t$ года, или $P_3 = 35,6 - 58,9$ года ($Q > 95 \%$) определен геологический возраст $T_3 = 112 - 320$ тыс. лет ($Q > 95 \%$), в среднем $\bar{T}_3 = 197 \pm 52 t$ тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 26 %. По од-

ному ЭлЦ-13 длительностью $P_4 = 189 \pm 55$ т лет определен геологический возраст $T_4 = 124 - 263$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_4 = 234 \pm 35$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 15%. По совокупности ЭлЦ-15, ЭлЦ-14 и ЭлЦ-13 геологический возраст установлен $T = 166 - 284$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T} = 226 \pm 29$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 13%, т. е. с такой же точностью, как и по термолюминесцентному методу.

Поскольку в блоках первом и третьем Кормужиханского разреза вскрыта примерно одна и та же пачка глинисто-песчаных пород, уточним ее геологический возраст при совместном рассмотрении ЭлЦ обоих блоков. По десяти ЭлЦ-15 со средней длительностью $\bar{P}_2 = 38,0 \pm 3,1$ т года, или $P_2 = 31,8 - 44,2$ года ($Q > 95\%$) геологический возраст определен $T_2 = 37 - 591$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_2 = 359 \pm 138$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 39%. По девяти ЭлЦ-14 со средней продолжительностью $\bar{P}_3 = 44,1 \pm 3,9$ т года, или $P_3 = 36,3 - 51,9$ года ($Q > 95\%$) геологический возраст установлен: $T_3 = 158 - 320$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_3 = 227 \pm 40$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 18%. По двум ЭлЦ-13 длительностью $P_4 = 175 - 222$ года ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{P}_4 = 198 \pm 12$ т года геологический возраст определен: $T_4 = 227 - 246$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $T_4 = 238 \pm 5$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 2%. В итоге по спектру ЭлЦ 15-, 14-, и 13-го классов установлен геологический возраст глинисто-песчаных отложений первого и третьего блоков Кормужиханского разреза $T = 228 - 247$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T} = 238 \pm 5$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 2%, что в восемь раз точнее датировки по термолюминесцентному методу.

Первый блок Садовологского разреза представлен 166 годичными лентами песчано-глинистых отложений, геологический возраст которых по термолюминесцентному методу определен как $T_0 = 380 - 670$ тыс. лет. Для этого интервала времени характерен спектр ЭлЦ: 9,20-9,24 года (ЭлЦ-16), 38,5 - 46,8 года (ЭлЦ-15), 46,0 - 234 года (ЭлЦ-14), свыше 83 лет (ЭлЦ-13).

По четырем ЭлЦ-15 длительностью $P_2 = 30,8 - 39,2$ года ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{P}_2 = 35,0 \pm 2,1$ т года геологический возраст определен как $T_2 = 0 - 412$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_2 = 218 \pm 103$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 47%. По одному ЭлЦ-14 длительностью $P_3 = 140 \pm 40$ т лет геологический возраст установлен как $T_3 = 384 - 573$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_3 = 424 \pm 47$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 11%. По совокупности ЭлЦ-15 и ЭлЦ-14 геологический возраст определен в интервале $T = 302 - 474$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T} = 388 \pm 43$ т тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 11% и с точностью вдвое большей по сравнению с термолюминесцентным методом.

Карымкарский разрез включает 156 годичных лент песчано-

глинистых отложений, геологический возраст которых по термолюминесцентному методу определен как $T_0 = 172 - 270$ тыс. лет. По четырем ЭлЦ-15 с длительностью образования $P_2 = 25 - 53$ года ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{P}_2 = 39,0 \pm 7,1$ t года геологический возраст установлен в интервале $T_2 = 0 - 830$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_2 = 402 \pm \pm 208$ t тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 52%. По одному ЭлЦ-14 продолжительностью $P_3 = 156 \pm 45$ t лет геологический возраст определен в интервале $T_3 = 83 - 252$ тыс. лет ($Q > 95\%$), в среднем $\bar{T}_3 = 217 \pm 42$ t тыс. лет со среднеквадратичной ошибкой 18% и с точностью вдвое меньшей по сравнению с термолюминесцентным методом.

Итак, в первой группе из семи разрезов — Садовологского (1 и 2 блоки), Кормужиханского (1 и 3 блоки), Чукреевского, Воронинского и Карымкарского — суммарной мощностью безалевритистых глин III ЭЦ от 1,0 до 1,8 м, в среднем 1,4 м точность определения геологического возраста колеблется от 10 до 18%, составляя в среднем 13%. Во второй группе из трех разрезов — Елизаровского, Чукреевского вместе с Воронинским, Кормужиханского (совместно блоков первого и третьего) — с суммарной мощностью безалевритистых глин III ЭЦ от 2,6 до 3,2 м, в среднем 3,0 м точность определения геологического возраста колеблется от 2 до 9%. В третьей группе из двух разрезов — Кеушинского и Чембакчинского — с суммарной мощностью прослоев безалевритистых глин III ЭЦ от 5,2 до 5,5 м, в среднем 5,4 м точность определения геологического возраста колеблется от 0,3 до 0,4%, составляя в среднем 0,36%. При этом при переходе от первой группы ко второй суммарная мощность слоев III ЭЦ увеличивается в 2,2 раза, а точность возрастает в 2,6 раза, слегка быстрее, чем нарастает мощность глин. При переходе же от второй группы к третьей суммарная мощность слоев безалевритистых глин увеличивается всего в 1,8 раза, а точность определения геологического возраста резко возрастает в 14 раз (!). В связи с этим при определении геологического возраста по четвертичным ленточным глинам желательно, чтобы суммарная мощность последних составляла не меньше четырех метров. Кроме того, разрезы, где суммарная мощность прослоев безалевритистых глин III ЭЦ меньше одного метра неперспективны для определения по ним геологического возраста.

В Чаган-Узунском разрезе среднечетвертичных отложений Горного Алтая, по Г.Ф. Лунгерсгаузену, на 95%-ном уровне значимости установлены: геологический возраст (традиционными методами) $T_0 = 105 - 385$ тыс. лет, длительность циклов 16-го класса $P_1 = 8,28 - 9,41$ года, 15-го класса $P_2 = 30,9 - 37,3$ года, 14-го — $P_3 = 53 - 69$ лет. С учетом (21) и на основе рис. 23 по P_1 находим T_1 — геологический возраст, который подтверждает T_0 , но не уточняет его. Точно так же по P_2 определяем $T_2 = 0 - 328$ тыс. лет, который частично подтверждает T_2 для интервала $T_1' = 105 - 328$ тыс. лет. Другими словами, анализ наноциклов с учетом традиционных методов определения геологического воз-

выводы Г.В. Сакулиной о кимериджском возрасте карабастауской свиты. В том же образце выделены ЭлЦ-15, $P_2 = 5,24 - 6,76$ года. Они соответствуют затменно-перигелиевым циклам (см. рис. 26), образовавшимся 145,8 – 154,6 млн. лет назад, т. е. в кимеридже – титоне. Самые крупные НЦ-14 выделены по появлению циклитов с I ЭЦ. Их продолжительность $P_3 = 11,6 - 29,4$ года (см. рис. 26) свидетельствует о кимеридж-титонском (146,2 – 150,5 млн. лет) возрасте свиты. При этом точность метода определения геологического возраста по затменно-перигелиевым циклам ($\pm 1,03$ т млн. лет) примерно соответствует точности определения начала титона изотопным методом: $148,6 \pm 0,6$ т млн. лет (см. табл. 3).

Итак, точность определения геологического возраста зависит от количества изученных наноциклитов. Например, в четырех расчетах по 30–50 пар микрослойков в каждом точность определения возраста по наноциклитам (η_1) на порядок ниже точности традиционных методов, изотопного и седиментационного (η_0). Дополнение к традиционным – метода анализа наноциклитов – точности определения геологического возраста не повышает. Другая группа из 11 расчетов по 60 – 280 пар микрослойков в каждом сопровождается высокой точностью η_1 , всего лишь на треть уступающей точности η_0 . При комплексном использовании всех методов точность возрастает почти в полтора раза. Но наибольший эффект наблюдается в третьей группе из девяти расчетов по 300 – 900 парам микрослойков в каждом и (или) при наличии хотя бы одного слоя, включающего не менее 120 наноциклитов. Здесь $\eta_1 \approx \eta_0$, а комплексное использование всех методов позволяет уточнить геологический возраст почти на порядок, т. е. в среднем в семь раз, а в рассмотренных выше примерах – в 20–30 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллен К.У. Астрофизические величины, М., Мир, 1977, 446 с.
2. Афанасьев Г.Д., Багдасарян Г.П., Боровиков Л.И. Геохронологическая шкала в абсолютном летоисчислении по данным лабораторий СССР на апрель 1964 г. с учетом опубликованных данных. МГК, XXII сессия. Доклады советских геологов. Проблема 3. Абсолютный возраст геологических формаций. М., Наука, 1964, с. 287 – 324.
3. Афанасьев Г.Д. Международный коллоквиум по геохронологии (август – сентябрь 1969 г., Швейцария). – Изв. Ан СССР. Сер. геол., 1970, № 3, с. 160–164.
4. Афанасьев Г.Д., Зыков С.И. Геохронологическая шкала фанерозоя в свете новых значений постоянных распада. М., Наука, 1975, 100 с.

5. *Афанасьев С.Л.* Методика изучения пульситов (циклокомплексов) флишевой формации. — В кн.: Геоцикличность. Новосибирск, Ин-т геол. и геофиз., 1976, с. 100—117, вкладка.
6. *Афанасьев С.Л.* Определение геологического возраста по наноциклитам. — В кн.: Математические методы анализа цикличности в геологии. М., 1964, с. 6—26.
7. *Афанасьев С.Л.* Путеводитель экскурсии 6 Всесоюзной школы морской геологии. М., Изд. Ин-та океанологии, 1984, 56 с.
8. *Белоусов В.В.* Геотектоника. М. Изд. Московского ун-та, 1976, 332 с.
9. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. М., Наука, 1965, 464 с.
10. *Вассович Н.Б., Меннер В.В.* Системные уровни организации сообществ осадочных пород. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 11, с. 5—14.
11. *Вернадский В.И.* О значении радиогеологии для современной геологии. — Труды XVII сессии МГК. Т.1. М., Гonti, 1939, с. 215 — 239.
12. *Войткевич Г.В.* Геологическая хронология Земли. М., Наука, 1984, 128 с.
13. *Геохронология СССР.* Т. 2. Фанерозой. Л., Недра, 1974, 344 с.
14. *Геохронологическая таблица.* Л., Изд. Всес. науч.-исслед. геол. ин-та, 1984, 2 листа.
15. *Достижения в разработке общей стратиграфической шкалы докембрия СССР/Б.М. Келлер, К.О. Кратц, Ф.П. Митрофанов, М.А. Семихатов, Б.С. Соколов, К.А. Шуркин.* — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1977, № 11. с. 16—21.
16. *Зотов П.П.* Детальная шкала абсолютной геохронологии. — В кн.: Происхождение и история Земли. Алма-Ата, 1972, с. 180 — 194.
17. *Корреляция отложений позднего неогена Центральной Азии и Европы по палеомагнитным и биостратиграфическим данным/М.А. Певзнер, Э.А. Вангенгейм, В.И. Жегало, В.С. Зажигин, И.Г. Лускун.* — Изв. АН СССР. Сер. геол., № 6, 1982, с. 5—16.
18. *Красилова И.Н., Найдин Д.П., Немков Г.И.* Геохронологическая шкала и принципы ее построения. Фанерозой. — Итоги науки и техники. Сер. Стратиграфия. Палеонтология. Т. 2. М., ВИНТИ, 1981, 122 с.
19. *Найдин Д.П.* Геохронология мелового периода. — Бюл. МОИП. Отдел геол., 1982. 57, вып. 1, с. 51—72.
20. *Применение единых значений констант распада в геохронологии.* — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 11, с. 148.
21. *Рубинштейн М.М.* Некоторые вопросы дальнейшего уточнения и детализации абсолютной геохронологической шкалы. — В кн.: Труды 11 сессии Комиссии по определению возраста геологических формаций. М., АН СССР, 1963, с. 306—317.
22. *Сташков Г.М.* Скорректированный вариант геохронологической шкалы фанерозоя. — Узб. геол. журн., 1978, № 3, с. 74—78.
23. *Сташков Г.М.* Расчетный вариант геохронологической шкалы позднего рифея. — Узб. геол. журн., 1981, № 2, с. 60 — 65.
24. *Armstrong R.L.* Pre-Genosic Phanerozoic time scale — computer file of critical dates and consequences of new and in-progress decay-constant Revisions. — Contrib. Geol. Time Scale. Int. Geol. Congr., Sydney, 1976. Tulsa, Oklah., 1978, p. 73 — 91.
25. *Berggren W.A.* Cenozoic chronostratigraphy, planktonic foraminiferal zonation, and the radiometric time scale. Nature, 1969, v. 224, p. 1072 — 1075.
26. *Bukry D.* Cretaceous and Paleogene coccolith stratigraphy, Deep Sea Drilling Project, Leg 26. — Int. Reports Deep Sea Drill. Project, v. 26. Washington, D.C., 1974, p. 669 — 673.
27. *Dalrymple G.B.* Critical tables for conversion of K-Ar ages from old to new constants. — Geology, 1979, v. 7, N 11, p. 558 — 560.
28. *Ernst G., Kreuzer H.* Calibration of stratigraphic methods in the boreal Cretaceous of Germany. 25 th Intern. Geol. Congr., Canberra, 1976. Abstr., v. 1, p. 267 — 268.

29. *Eysinga F.W.B. van*. Geological time table. Amsterdam, Elsevier, 1983.
30. *Gill J.R., Cobban W.A.* The Red Bird section of the Upper Cretaceous Pierre Shale in Wyoming. U.S. Geol. Survey Prof. Paper. 1966, 393—A, 69 p.
31. *Hardenbol J., Berggren W.A.* A new Paleogene numerical time scale. Contrib. Geol. Time Scale, Int. Geol. Congr., Sydney, 1976. Tulsa, Oklah., 1978, p. 213 — 234.
32. *Harland W.B., Gox A.V., Liewellyn P.G., Pickton C.A.G., Smith A.G., Walters R.* A geologic time scale. Cambridge University Press. 1982, 132 p.
33. *Hinte J.E. van*. Cretaceous time scale. — Bull. Amer. Petrol. Geol., 1976, 60, N 4, p. 498 — 516.
34. *Holmes A.* A revised geological time — scale. Edinburgh Geol. Soc. Trans., 1959, v. 17, p. 183 — 216.
35. *Kauffman E.G.* Population systematics radiometrics and zonation — a new biostratigraphy. — North Am. Paleont. Conv. Proc., 1970, p. 612 — 666.
36. *Kauffman E.G.* Geological and biological overview. — Western Interior Cretaceous basin. — Mountain Geologist, 1977, 14, N 3 — 4, p. 75 — 99.
37. *Lambert B.J.* The pre — Pleistocene Phanerozoic time — scale — a review. — Phanerozoic Time — scale. Parts 1 — 2. (Spec. Publ. Geol. Soc. London, N 5). London, 1971, p. 9 — 31.
38. *Lancelot Y., Seibold E., Gardner J.V.* Introduction. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., 1978, v. 41, p. 7 — 18.
39. *Montadert L., Roberts D.G., Thompson R.W.* Introduction and explanatory notes, Leg 48, inopd phase of the Deep Sea Drilling Project. — Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., v. 48, 1979, p. 9 — 31.
40. *Obradovich J.D., Cobban W.A.* A time scale for the Late Cretaceous of the Western Interior of North America. — Geol. Assoc. Can. Spec. Pap., 1975, N T3, p. 31 — 54.
41. *Odin G.S.* Resultats de datation radiometriques dans les sedimentaires du Tertiaire de l'Europe occidentale. — Rev. geogr., phys, et geol. dyn., 1973, 15, N 3, p. 317—330.
42. *Odin G.S.* The phanerozoic time scale revisited. — Episodes. v. 1982, N 3, 1982, p. 3 — 9.
43. *Pomeroy C.* Critical Review of Isotopic Dates in Relation to Paleogene Stratotypes. — Contrib. Geol. Time Scale. Int. Geol. Congr., Sydney, 1976. Tulsa, Oklah., 1978, p. 235 — 245.
44. *Priem H.N.A., Boelrijk N.A.I.M., Hebeda E.H., Romein B.J., Verdurmen E.A.T., Verschyre R.H.* Isotopic dating of glauconites from the upper cretaceous in Netherlands and Belgian Limburg, 1. — Geol. en mijnbouw, 1975, 54, N 3 — 4, p. 205 — 207.
45. *Rubinstein M., Gabunia L.* On dating of the Paleogene. — Contrib. Geol. Time Scale. Int. Geol. Congr., Sydney, 1976. Tulsa, Oklah., 1978, p. 205 — 211.
46. *Stainforth R.M., Lamb J.L., Luterbachem H., Beard J.H., Jeffords R.M.* Cenozoic planctonic foraminiferal zonation and characteristics of index forms. — Paleont. Contr. Univ. Kansas, 62, 1975, p. 1 — 425.
47. *The Phanerozoic time — scale. V. 120s.* A Supplement to the Quarterly Journal of the Geol. Soc. of London, 1964, 320 p.
48. *Wager L.R.* The history of attempts to establish a quantitative time — scale. In: The Phanerozoic Time — scale. V. 120s. Supp. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 1964, p. 13 — 28.
49. *Wanless R.K., Stevens R.D., Lachance G.R., Delabio R.N.* Age determination and geological studies K—Ar isotopic ages, report 10. — Pap. Geol. Surv. Can., N 2, 1972, p. 1 — 96.
50. *Winterer E.L.* Introduction. — Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., v. 17, 1973, p. 5 — 15.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Стратоны	5
Изотопные методы	22
Геохронологическая шкала фанерозоя: анализ изотопных датировок начала веков и фаз	37
Палеозойская эра	40
Мезозойская эра	54
Кайнозойская эра	78
Сравнительная характеристика 77 геохронологических шкал фанерозоя	87
Литологические методы определения геологического возраста	93
Метод песочных часов	93
Определение геологического возраста по наноциклитам (наноциклитный метод)	134
Список литературы	142

1 р. 60 к.

4783

НЕДРА