ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

А. В. Гоманьков

O tempora, o mores!

M. Tullius Cicero

I. Введение. Теоретические предпосылки

1. Основные положения теории измерений

Традиционно измерение различных величин в естествознании было прерогативой физики. В других естественных науках (иногда даже называемых «качественными» в противоположность «количественной» физике), как правило, измерения или вообще не проводились, или измерялись величины, тесно и очевидным образом связанные с физическими. Положение кардинально изменилось в XX веке, когда во многих областях знания стали измеряться величины, редукция которых к физическим величинам была, по меньшей мере, не очевидной. В середине XX в. это привело к возникновению и бурному развитию специальной *теории измерений* – математической дисциплины, исследующей специфику различных измерительных процедур (Пфанцагль, 1976; Котов, 1985). Поскольку некоторые понятия и результаты этой теории будут широко использоваться нами в дальнейшем изложении, здесь имеет смысл хотя бы кратко остановиться на основных её положениях.

Главным понятием теории измерений является понятие *шкалы* (иногда её даже называют теорией шкал), и всякое измерение трактуется в данной теории как построение некоторой шкалы. Шкалой в теории измерений называется гомоморфизм неприводимой эмпирической системы в числовую систему. Под системой при этом понимается множество элементов, на котором заданы некие отношения между элементами. В случае числовой системы её элементами являются действительные числа. В данном выше определении шкалы, очевидно, требует пояснения термин «неприводимая», применённый к эмпирической системе.

Каждый элемент системы может быть охарактеризован множеством тех отношений, в которых он участвует. Это множество можно, очевидно, отождествить с функцией данного элемента в данной системе. Вообще говоря, в системе могут существовать разные элементы с одинаковыми функциями, т. е. участвующие в одних и тех же отношениях. Для системы такие элементы являются взаимозаменяемыми, их обычно называют конгруэнтными. Отношение конгруэнтности элементов, очевидно, обладает всеми свойствами отношения эквивалентности (рефлексивностью, симметричностью и транзитивностью) и, следовательно, порождает разбиение множества элементов данной системы на классы конгруэнтности. Система называется неприводимой, если она не имеет различных элементов, конгруэнтных друг другу, т. е. функция каждого её элемента уникальна. Если эмпирическая система, в которой мы хотим измерить какое-либо свойство её элементов (т. е. построить на её основе шкалу), не является неприводимой, то с ней обычно совершают стандартную процедуру приведения – переходят к рассмотрению новой системы, элементами которой являются классы конгруэнтности прежней системы, а отношения между ними мыслятся такими же, как отношения между элементами прежней системы. Такая новая система, очевидно, уже неприводима, и если построить из неё какой-нибудь гомоморфизм в числовую систему, то мы получим шкалу в смысле теории измерений.

В теории измерений существует классификация шкал, основанная на тех преобразованиях, относительно которых рассматриваемая шкала оказывается инвариантной (чем «слабее» шкала, тем шире класс её допустимых преобразований). Пусть, например, имеется гомоморфизм μ некоей неприводимой системы *(Z; S)* в множество действительных чисел:

$$\mu : (Z; S) \to (R; P)$$

(здесь Z – произвольное множество, R – множество действительных чисел, а S и P– некие множества отношений соответственно на Z и на R). Тогда по определению μ – это шкала. Пусть есть также некая числовая функция f, определённая, по крайней мере, на области прибытия отображения μ:

$$f : \mu(Z) \to R.$$

Будем тогда говорить, что шкала μ инвариантна относительно преобразования f (а преобразование f допустимо для шкалы μ), если композиция отображений f и μ есть также гомоморфизм системы *(Z; S)* в множество действительных чисел:

$$f \circ \mu : (Z; S) \to (R; P).$$

В рамках классификации, основанной на типах допустимых преобразований, различаются следующие типы наиболее употребительных шкал:

1. Шкалы наименований, инвариантные относительно любых взаимно однозначных функций на множестве действительных чисел. Пример: нумерация игроков футбольной команды, имеющая единственную цель – *различать* футболистов на поле.
2. Шкалы порядка, инвариантные относительно любых монотонных непрерывных функций. Сюда относятся все так называемые «балльные» шкалы: шкала для определения силы шторма на море, шкала Рихтера для определения силы землетрясений, шкала оценки знаний у школьников и т. п.
3. Шкалы интервалов, инвариантные относительно линейных преобразований типа $x' = ax + b$. Пример: температурная шкала Цельсия, имеющая условный нуль отсчёта (точку замерзания воды) и условную же единицу измерения (одну сотую расстояния от

точки замерзания до точки кипения).

4. Шкалы отношений, инвариантные относительно линейных преобразований, где $b = 0$ ($x' = ax$). В шкалах отношений измеряется большинство скалярных физических величин: длина, масса, энергия, температура по Кельвину и т. д.; все они имеют «естественное» начало отсчёта (нулевое значение), но измеряются в условных единицах.
5. Шкалы разностей, инвариантные относительно линейных преобразований, где $a = 1$ ($x' = x + b$). Сюда относятся все шкалы для измерения «фаз» различных периодических процессов (например, фаз Луны, или фаз переменного тока); для них существует естественная единица измерения (один полный цикл), но нет безусловного начала отсчёта.
6. Абсолютные шкалы, инвариантные лишь относительно тождественного преобразования. В абсолютных шкалах измеряются все так называемые «безразмерные» величины: отношение длины объекта к его ширине, число элементов в конечном множестве и т. д.

Пожалуй, главная цель настоящей работы заключается в обосновании положения о том, что стратиграфические шкалы являются также шкалами в смысле теории измерений, а именно – шкалами порядка, и в ответе на вопрос, почему они являются шкалами порядка, а не какими-нибудь другими.

2. Время как фактор-процесс

Что такое время?

«Исповедь» блаженного Августина, написанная около 400 г., содержит довольно большой по объёму фрагмент (главы 10 – 30 книги XI), который рассматривается историками философии как одно из глубочайших за всю историю человечества сочинений о времени (Майоров, 1979). В начале этого фрагмента есть такие слова: «…Что такое время? Пока никто меня о том не спрашивает, я понимаю, нисколько не затрудняясь; но коль скоро хочу дать ответ об этом, я становлюсь совершенно в тупик» (блаженный Августин, 1914, стр. 313). Так же, т. е. как основную первичную интуицию нашего сознания, лежащую в основе всякого познавательного процесса, трактовал время и И. Кант в «Критике чистого разума» (цит. по русскому изданию 1867 г.). Таким образом, любая попытка дать определение понятию времени неизбежно сводится лишь к бесконечному повторению одной и той же тавтологии: «Время есть время».

Но даже согласившись с великими умами прошлого в том, что во всех наших теоретических конструкциях время должно выступать в качестве первичного и неопределяемого понятия, мы можем вспомнить об опыте математики, где определение неопределяемых понятий имплицитно содержится в аксиомах, формулируемых с помощью этих понятий. Наша интуиция имеет собственную *структуру,* которая описывается с помощью той или иной системы аксиом. Не претендуя на построение общей формальной теории времени (для знакомства с такими теориями можно обратиться к работам по временнóй логике; см., например, Ивин, 1970; Кузнецов, 1973), я хотел бы всё же неформальным образом очертить здесь структуру своей интуиции времени с помощью обращения к некоторым другим столь же интуитивно-ясным понятиям.

Первым из таких понятий в нашем рассмотрении будет понятие *процесса.* Процесс будет пониматься нами как некая система, состоящая из элементов, которые связаны друг с другом некоторыми («процессообразующими») отношениями. Элементы процесса естественно называть *событиями.* Процессом является и моя собственная жизнь или моё бытие. Таким образом, то, что обычно называется словом «я», тоже можно рассматривать как процесс.

Вторым понятием, которое мы введём в качестве интуитивно-ясного, будет понятие *синхронности.* Синхронность будет рассматриваться нами как отношение между событиями. Синхронизация (установление синхронности между событиями разных процессов) есть гомоморфизм процессов, т. е. такое соответствие между событиями, при котором сохраняются «процессообразующие» отношения. Всякое наблюдение процесса включает в себя его синхронизацию с процессом «я» (наблюдателем). При этом события постороннего для меня процесса становятся как бы и событиями моей собственной жизни. Такая синхронизация представляется самоочевидной и не нуждающейся в каких-либо специальных методах.

Отношение синхронности обладает тремя важными свойствами:

1) рефлексивностью: всякое событие синхронно самому себе;
2) симметричностью: если событие G синхронно событию H, то событие H синхронно событию G;
3) транзитивностью: если событие G синхронно событию H, а событие H синхронно событию I, то событие G синхронно событию I.

Таким образом, синхронность есть отношение эквивалентности и множество событий может быть разбито по этому отношению на непересекающиеся классы (классы синхронности). Ввиду того, что «процессообразующие» отношения сохраняются при синхронизации, можно считать, что между классами синхронности так же существуют некоторые отношения и, таким образом, множество классов синхронности тоже может рассматриваться как некая система. Эта система построена нами с помощью процедуры, широко известной и используемой в математике под названием факторизации (например, таким образом в теории групп вводится понятие фактор-группы), и представляет собой, так сказать, «фактор-процесс».

Понятие фактор-процесса отождествляется мной с понятием *времени.* Время, таким образом, - это то, что есть общего у нескольких процессов, синхронизируемых друг с другом (определения такого рода часто встречаются в математике и физике; например: мощность множества – это то общее, что есть у множеств, эквивалентных друг другу; поле – это то общее, что есть у взаимодействующих тел; и т. п.). Выбирая для синхронизации разные множества процессов, мы будем получать и разные времена с разными свойствами и отношениями между моментами (классами синхронных событий). В пределе каждый отдельный процесс может рассматриваться как самостоятельное время, если он берётся изолировано от других процессов и не синхронизируется с ними.

Легко видеть, что процедура построения времени через синхронизацию процессов вполне аналогична процедуре приведения систем, рассмотренной в предыдущем разделе. В силу этого время, рассматриваемое как фактор-процесс, всегда представляет собой неприводимую систему, удобную для измерения. Измерение времени осуществляется с помощью специальных эталонных процессов, называемых *часами.* Как правило, часы снабжены каким-либо *циферблатом,* т. е. системой цифр, делающей измерение данного процесса (сопоставление составляющих его событий с множеством действительных чисел) процедурой самоочевидной. Можно сказать, что часы измеряют сами себя. Кроме того, часы выступают в качестве *измерительного эталона* времени: каждому *моменту времени* (классу синхронных событий) ставится в соответствие то число, которое соответствовало событию часов, входящему в данный класс.

Синхронизация какого-либо процесса с часами называется *хронометражем* или *датировкой* (слово «хронометраж» употребляется, как правило, по отношению ко всему процессу в целом, а слово «датировка» - по отношению к отдельным событиям). В обыденной жизни датировки осуществляются, как правило, через процесс «я». Например, если я утверждаю, что поезд прибыл на станцию в 19 часов 20 минут, то этим констатируется синхронизация трёх процессов: движения поезда, хода часов (скажем, на здании вокзала) и моей собственной жизни, которая благодаря наблюдению включает в себя и события первых двух процессов.

Время, моменты которого включают в себя события моей жизни (и которое тем самым измеряется описанным выше путём, т. е. синхронизацией различных процессов с часами через процесс «я»), называется *физическим.* В различных исторических науках разработаны специальные способы измерения времени без участия наблюдателя. Благодаря этому можно говорить о различных «нефизических» временах, в том числе и о специфическом геологическом времени.

3. Кризис стратиграфии

Современное состояние стратиграфии, которая понимается мной как наука о геологическом времени, выглядит парадоксальным. С одной стороны, геологи, кажется, могли бы гордиться самим существованием этой отрасли их знания. Епископ Николай Стенон, которого можно считать основоположником стратиграфии, был современником Р. Декарта и И. Ньютона. Таким образом, важность временно́го аспекта геологии была осознана так давно и так обстоятельно, что послужила основанием для создания отдельной научной дисциплины. Нельзя сказать, что существует отдельная наука о физическом, или о биологическом, или даже об историческом времени. А вот отдельная наука о геологическом времени существует, и называется она стратиграфией.

Но с другой стороны, стратиграфия до настоящего времени остаётся крайне плохо разработанной в теоретическом отношении. Теорию стратиграфии нигде не преподают. В ней фактически отсутствуют какие-либо устоявшиеся и общепризнанные положения, которые можно было бы передавать от одного поколения исследователей к другому и включать в учебники. Соответственно, нет и учебников. Нет даже хороших обобщающих монографий. Лучше других – книга С. В. Мейена «Введение в теорию стратиграфии», депонированная в ВИНИТИ в 1974 г. и изданная в 1989 г. уже после смерти автора, хотя и она не свободна от некоторых весьма существенных недостатков. Выражаясь языком Т. Куна (2003), можно сказать, что у стратиграфии нет своей парадигмы. Состояние её теории можно уподобить состоянию геометрии в древнем Египте: эта теория сводится к набору рецептов с неопределёнными границами применимости и неизвестными взаимосвязями. Вот уже три с половиной века стратиграфия ждёт своего Евклида.

По-видимому, до конца XIX в. теорию стратиграфии вообще никто специально не разрабатывал. Мейен начинает свою книгу цитатой из статьи С. Н. Никитина и Ф. И. Чернышёва (1889), в которой они сетуют на то, что каждому стратиграфу «…поручено сооружение одного этажа, каждый заботился только о скреплении этого этажа по силе разумения своего с этажом предыдущим, но никто не слазил посмотреть, на чём держится всё здание» (стр. 138). Параллельно, так же со второй половины XIX в. (Спенсер, 1866) и вплоть до конца XX-го (Салин, 1977) бытует мнение о принципиальной «нелогичности» стратиграфии, а следовательно, и невозможности построить для неё удовлетворительную теорию. Мейен (так же, впрочем, как и Ю. С. Салин) видел причину отсутствия стратиграфической парадигмы в расплывчатости многих используемых понятий, в том числе и тех, которые играют роль фундаментальных. Однако, публикация его собственной книги, призванной (по крайней мере, с точки зрения автора) прояснить и чётко очертить смысл этих понятий, мало что изменила в «дискуссионном поле» теоретической стратиграфии (см., например, Попов, 2003). Не разделяя пессимизма Спенсера–Салина, я думаю, что подлинная причина «теоретико-стратиграфического хаоса» заключается не только и не столько в терминологической нечёткости, сколько в том интуитивном общем представлении о времени, которое господствует в умах стратиграфов на протяжении всей истории стратиграфии.

В геологии эта первичная интуиция (в дальнейшем мы будем называть её наивным представлением о времени) приходит в противоречие с некоторыми эмпирическими фактами. Разрешение возникающих противоречий возможно путём различных модификаций наивного представления о времени, но поскольку это представление (в силу своей интуитивности) остаётся не эксплицированным, то всякая такая модификация вызывает отторжение со стороны всех остальных (за исключением её автора) участников дискуссии. Поэтому кажется разумным начать наше рассмотрение проблемы геологического времени с происхождения и аксиоматического описания наивного представления о времени вообще.

II. Роль измерений в истории естествознания. «Тройной изоморфизм» Ньютона

1. Аналитическая геометрия и «геометрический анализ»

Идея о том, что в основе мироздания лежат числа, обычно приписывается Пифагору («Фрагменты…», 1989). Наука Нового времени родилась из представлений христианского богословия о «Книге природы» (Петров, 1978; Чайковский, 2001), и уже Г. Галилей, один из тех, кого считают отцом этой науки, сделал ей «прививку» пифагорейства, заявив, что книга природы написана языком математики (Гайденко, 1997). Математика при этом мыслилась преимущественно как арифметика. Широко известен другой методологический принцип Галилея: «Измеряй всё измеримое, делай измеримым всё неизмеримое», нашедший отражение в словах известной детской песенки:

Раз, два, три, четыре, пять,
Шесть, семь, восемь, девять, десять…
Можно всё пересчитать,
Всё измерить и всё взвесить:
Сколько лодочек на море,
Сколько зёрен в помидоре,
Сколько в комнате дверей,
В переулке фонарей.

Если перевести этот принцип на язык теории измерений, то можно сказать, что Галилей считал все существующие в мире отношения выразимыми через отношения между числами.

Декарт, младший современник Галилея, продемонстрировал полное и максимально последовательное приложение его принципа к другому (отличному от арифметики) разделу математики – он создал аналитическую геометрию. Существование аналитической геометрии порождает ряд важных методологических вопросов, поэтому на основаниях этой дисциплины сто́ит остановиться подробнее.

Аналитическая геометрия может рассматриваться как пример полной редукции одной математической дисциплины к другой: все неопределяемые понятия геометрии определены в ней через понятия арифметики таким образом, что все аксиомы геометрии оказываются истинными (справедливыми, доказуемыми) теоремами арифметики. Геометрия тем самым превращается в частный раздел арифметики - учение об упорядоченных тройках действительных чисел. В связи с этим возникает вопрос: действительно ли арифметика есть теория более общая, чем геометрия, и если да, то почему геометрия продолжает существовать в качестве вполне самостоятельного раздела математики и спустя три с половиной века после публикации трудов Декарта? Или, может быть, обе эти дисциплины (геометрия и арифметика) имеют одинаковый уровень общности и обе, как любят говорить математики, могут служить моделями друг для друга? Но модель никогда не тождественна тому, что она моделирует, а всегда лишь *сходна* с ним в отношении некоторых свойств, оставаясь отличной от моделируемого объекта по каким-то другим свойствам. Если геометрия и арифметика сосуществуют параллельно на протяжении многих веков, то, скорее всего, они всё же чем-то отличаются друг от друга. Но чем? Как эти отличия выражены в аксиоматике той и другой дисциплины?

Чтобы приблизиться к ответам на эти вопросы, попробуем сначала совершить редукцию «в обратную сторону» (по сравнению с редукцией Декарта) и построить по образу и подобию аналитической геометрии «геометрический анализ», т. е. определить неопределяемые понятия арифметики через понятия геометрии таким образом, чтобы все арифметические аксиомы стали бы доказуемыми геометрическими теоремами. В математической литературе мне не встречалось подобного построения и ниже я приведу его несмотря на то, что с математической точки зрения оно вполне тривиально. Однако, сначала необходимо выяснить вопрос о том, чтó следует считать аксиомами арифметики.

В отличие от геометрии, первая аксиоматика которой был построена ещё Евклидом (IV в. до н. э.), арифметика долго развивалась на чисто интуитивной основе, и формулировку её аксиом обычно связывают с трудами Дж. Пеано, появившимися лишь в конце XIX в. Работы Пеано, к сожалению, отсутствуют в русском переводе и остались недоступными для меня в оригинале. Поэтому его аксиоматику я привожу по книгам С. К. Клини (1957, 1973). Пеано вводит три неопределяемых понятия – число (натуральное), единица и следующее число, а также следующие пять аксиом:

А1. Единица есть число.

А2. Для всякого числа существует следующее число и притом только одно (т. е. если число a следует за числом b, то не существует никакого числа c, отличного от a, которое следовало бы за b).

А3. Если число a следует за числом b, то не существует никакого числа c, отличного от b, такого что a следовало бы за c (т. е. для всякого числа существует не более одного, предшествующего ему).

А4. Единица не следует ни за каким числом.

А5 (принцип индукции). Если некоторое утверждение справедливо для единицы и из того, что оно справедливо для некоторого числа, следует, что оно справедливо и для следующего за ним числа, то это утверждение справедливо для любого числа.

Легко видеть, что этой аксиоматикой описывается далеко не всё даже из того курса, который обычно преподаётся под именем арифметики в начальной школе. Изначальный смысл слова «арифметика» (учение о числах) довольно хорошо соответствует теории Пеано, однако «школьная арифметика» помимо содержащихся в аксиомах Пеано представлений о числах включает в себя также представления об *операциях* над числами. Общим учением об операциях должна считаться, по-видимому, алгебра, и таким образом, то, что преподают в школе под именем арифметики, правильнее было бы называть алгеброй чисел или арифметической алгеброй. Именно к этой дисциплине редуцировал геометрию Декарт, и именно её мы имели в виду выше, говоря об аналитической геометрии и перспективе построения «геометрического анализа». В дальнейшем мы для краткости и следуя современной моде словоупотребления будем по-прежнему называть эту дисциплину арифметикой, однако, осознаем здесь необходимость дополнить систему Пеано аксиомами, которые позволяли бы нам говорить об операциях над числами, по крайней мере, об операциях сложения и умножения, порождающих, соответственно, понятия суммы и произведения. В настоящее время при обучении арифметике в начальной школе эти понятия вводят через интуитивное использование понятия «число раз», подразумевая, что числа есть *результат* некоторой интуитивно очевидной и неопределяемой *процедуры счёта* (для того, чтобы получить сумму чисел a и b, надо *b раз* взять число, следующее за числом a; для того, чтобы получить произведение чисел a и b, надо *b раз* взять сумму числа a с самим собой; эти определения, очевидно, подразумевают, что мы умеем считать «разы», т. е. по некоторому неописуемому правилу устанавливать соответствие между числами и нашими множественными действиями). Для того, чтобы сделать эти представления более корректными, можно дополнить аксиоматику Пеано ещё одной аксиомой, оперирующей с понятиями теории множеств:

А5а (аксиома счёта). Всякому конечному множеству может быть поставлено в соответствие некоторое число, называемое числом элементов этого множества. Если a – число элементов данного множества, то не существует никакого другого числа, отличного от a, которое было бы числом элементов этого множества.

Клини, формулируя аксиомы арифметики, не включает в их число аксиому счёта. В его изложении она присутствует лишь в виде *неформальных* замечаний, например, такого рода: «Разумеется, имея дело с предложениями типа “некоторое уравнение имеет два корня”, мы продолжаем пользоваться тем, что натуральные числа суть кардинальные числа конечных множеств (§ 4)» (Клини, 1957, стр. 26). Понятия суммы и произведения он вводит как неопределяемые, дополняя аксиоматику Пеано ещё четырьмя аксиомами (в обеих его книгах они имеют номера от 18 до 21): двумя для операции сложения и двумя для операции умножения. Поскольку вместо единицы он в качестве одного из неопределяемых понятий использует ноль, то мы здесь переформулируем данные четыре аксиомы таким образом, чтобы их можно было объединить в одну систему с изложенными выше аксиомами Пеано:

А6. Сумма любого данного числа с единицей есть число, следующее за данным.

А7. Сумма любого числа *a* с числом, следующим за числом *b*, есть число, следующее за суммой чисел *a* и *b* (ассоциативность прибавления единицы).

А8. Произведение любого числа с единицей есть само это число.

А9. Произведение любого числа *a* с числом, следующим за числом *b*, есть сумма произведения чисел *a* и *b* с числом *a* (дистрибутивность умножения относительно прибавления единицы).

Попробуем теперь изложить эти аксиомы (А1 – А5 и А6 – А9) на языке геометрии[1]. В качестве понятийно-аксиоматического языка геометрии я буду использовать аксиоматику Д. Гильберта (1948) – наиболее полную из известных мне. Доказательства некоторых теорем (очевидных или не играющих важной роли в осуществляемом описании) опущены для краткости.

Согласно аксиоматике Гильберта существуют различные точки *A, B, C* и *D*, такие, что не существует никакой плоскости, которая содержала бы их все.

Определение 1. *Нулём (0)* называется точка *A*.

Определение 2. *Единицей (1)* называется точка *B*.

Согласно аксиоматике Гильберта существует прямая *l*, содержащая точки *A* и *B*, причём никакая другая прямая (отличная от *l*) не содержит обе эти точки.

Определение 3. Прямая *l*, содержащая точки *A* и *B*, называется *числовой прямой*.

Определение 4. *Числами* (действительными) называются точки числовой прямой.

Очевидно, что 0 и 1 суть числа.

Определение 5. Число *M* называется *отрицательным*, если 0 лежит между *M* и 1.

Определение 6. Все неотрицательные числа кроме 0 называются *положительными*.

[1] Мы принципиально не касаемся здесь вопроса о полноте данной аксиоматики. В 1931 г. К. Гёдель доказал известную теорему, согласно которой никакая система аксиом арифметики не может быть полной, что породило среди многих учёных скепсис по отношению к аксиоматическому методу вообще. Ю. И. Манин (1975, стр. 86), обсуждая вопрос, далеко ли от выводимости до истинности, приходит к заключению: «…Очень далеко», т. е. множество утверждений, выводимых из любой системы аксиом арифметики, оказывается, по его мнению, неизмеримо более «бедным», чем множество всех истинных арифметических утверждений. Однако, если бы это действительно было так, то мы в своих практических обращениях к арифметике, вероятно, сталкивались бы с «гёделевскими» (т. е. недоказуемыми и неопровержимыми) утверждениями на каждом шагу, чего на самом деле не происходит. Насколько мне известно, *единственное* реальное «гёделевское» арифметическое утверждение было обнародовано (да и то не найдено, а специально построено) лишь полвека спустя после доказательства теоремы Гёделя. Так что существующие системы аксиом арифметики оказываются «достаточно» полными для всех практических приложений, в том числе и для целей настоящей работы.

Очевидно, что положительные числа существуют (например, 1). Таким образом, точки числовой прямой делятся на непересекающиеся классы: положительные числа, отрицательные числа и 0.

Определение 7. Пусть M и N – числа. Переместим отрезок AM вдоль числовой прямой таким образом, чтобы точка A совпала с точкой N. Тогда точка M займёт на числовой прямой новое место, соответствующее некоторому числу M'. Назовём число *M' суммой* чисел N и M. Обозначать это будем так: $M' = N + M$.

Теорема 1. Операция сложения (получения суммы) чисел коммутативна, т. е. для любых чисел M и N $N + M = M + N$.

Теорема 2. Операция сложения чисел ассоциативна, т. е. для любых чисел L, M и N $L + (M + N) = (L + M) + N$.

Теорема 3. Точка C не является числом.

Доказательство. Если бы точка C принадлежала числовой прямой, то проведя плоскость через эту прямую и точку D, мы получили бы плоскость, содержащую все точки A, B, C и D.

Определение 8. Пусть K и L суть положительные числа, причём L отлично от 1. Проведём прямую m через точки A и C (по теореме 3 отличную от числовой) и отложим на ней отрезок AK', равный отрезку AK. Проведём прямую p через точки B и K', а также прямую q через точку L, параллельную прямой p. Пусть прямая q пересекает прямую m в точке L'. Отложим на числовой прямой отрезок AM, равный отрезку AL' (рис. 1). Число M назовём *произведением* чисел K и L. Обозначать это будем так: $M = K \cdot L$. Произведением любого числа и единицы будем по определению считать само это число.

Теорема 4. Операция умножения (получения произведения двух чисел) коммутативна, т. е. для любых положительных чисел K и L

$$K \cdot L = L \cdot K .$$

Теорема 5. Операция умножения ассоциативна, т. е. для любых положительных чисел K, L и M

$$K \cdot (L \cdot M) = (K \cdot L) \cdot M .$$

Теорема 6. Операция умножения дистрибутивна относительно операции сложения, т. е. для любых положительных чисел K, L и M

$$K \cdot (L + M) = (K \cdot L) + (K \cdot M) .$$

Определение 9. Будем называть число *натуральным*, если оно может быть получено в результате сложения единицы с самой собой. Саму единицу также будем считать натуральным числом.

Определение 10. На множестве чисел определим бинарное отношение < *(меньше)*:

а) никакое число не меньше самого себя;

б) любое отрицательное число меньше любого неотрицательного;

в) ноль меньше любого положительного числа;

г) если M и N – различные отрицательные числа, то $M < N$ тогда и только тогда, когда N лежит между 0 и M;

д) если M и N – различные положительные числа, то $M < N$ тогда и только тогда, когда M лежит между 0 и N.

Теорема 7. Отношение < есть отношение строгого порядка, т. е., учитывая пункт (а) определения 10, если $L < M$, а $M < N$, то $L < N$.

Замечание 1. Как всякое отношение строгого порядка отношение < асимметрично, т. е. если $M < N$, то неверно, что $N < M$.

Замечание 2. Из определения 10 и теоремы 7 очевидно следует, что множество чисел линейно упорядоченно по отношению <, т. е. для любых различных чисел M и N справедливо либо $M < N$, либо $N < M$.

Теорема 8. Если $0 < M$, то для любого числа N

$$N < N + M \ .$$

Замечание 3. В силу первой аксиомы конгруэнтности (III_1) Гильберта, а также нашей теоремы 8 и с учётом замечания 2 всегда можно установить, является ли данное число натуральным, или нет, даже не обращаясь к аксиоме измеримости (IV_1). Учитывая же эту аксиому, можно легко доказать следующий критерий.

Теорема 9. Если $0 < M$, то M не является натуральным числом тогда и только тогда, когда существует такое натуральное число N, что

$$N < M < N + 1 .$$

Определение 11. Если N – натуральное число, то число $N+1$ (очевидно, тоже натуральное) будем называть числом, *следующим* за N. Само число N будем при этом называть *предшествующим* числу $N+1$.

Теорема 10. Для всякого натурального числа существует единственное следующее натуральное число.

Доказательство. Существование следующего натурального числа непосредственно вытекает из первой аксиомы конгруэнтности (III_1) Гильберта (1948). Доказательство единственности этого числа аналогично доказательству однозначности откладывания отрезков в той же работе.

Теорема 11. Единица не следует ни за каким натуральным числом.

Теорема 12. Для всякого натурального числа кроме единицы существует единственное предшествующее натуральное число.

Доказательство аналогично доказательству теоремы 10.

Лемма 1. В любом конечном множестве чисел существует наименьшее число (т. е. такое, которое меньше всех других чисел из этого множества).

Доказательство проведём, используя аппарат теории множеств, поскольку эта теория не опирается ни на понятие числа, ни на понятие точки и может рассматриваться как предшествующая по отношению и к арифметике, и к геометрии. Пусть Z есть произвольное конечное множество чисел. Рассмотрим произвольный элемент этого множества – E. Если в множестве Z нет элементов, которые были бы меньше E, то E – наименьший элемент. Пусть такие элементы есть. Обозначим их множество через Z_E. Очевидно, что в множестве Z существуют элементы, не принадлежащие Z_E (например, E), т. е. Z_E есть собственное подмножество множества Z:

$$Z \supset Z_E .$$

Кроме того, в силу транзитивности отношения < (теорема 7) любой элемент множества Z_E меньше любого элемента множества Z, не принадлежащего Z_E. Рассмотрим произвольный элемент множества Z_E – F. Если в множестве Z_E нет элементов, которые были бы меньше F, то F – наименьший элемент. Пусть такие элементы есть. Обозначим их множество через Z_F. Очевидно, что любой элемент множества Z_F меньше любого элемента множества Z, не принадлежащего Z_F, и что множество Z_F есть собственное подмножество множества Z_E:

$$Z \supset Z_E \supset Z_F .$$

Рассуждая дальше аналогичным образом, получим цепочку множеств, упорядоченную по отношению включения:

$$Z \supset Z_E \supset Z_F \supset \ldots \supset Z_V .$$

Каждому множеству в этой цепочке за исключением множества Z поставлен в соответствие некоторый элемент множества Z, причём никакой элемент не поставлен в соответствие разным множествам. Следовательно, поскольку множество Z конечно, то рассматриваемая цепочка множеств тоже конечна и в ней имеется последнее множество – Z_V. Рассмотрим произвольный элемент этого множества – W. Если бы в множестве Z_V были элементы, меньшие, чем W, то оно не было бы последним в цепочке. Следовательно, W есть наименьший элемент в множестве Z_V, а значит – и во всём множестве Z.

Лемма 2. В любом непустом множестве натуральных чисел существует наименьший элемент.

Доказательство. Пусть Z есть некоторое непустое множество натуральных чисел. Возьмём произвольный элемент этого множества N. Если $N = 1$, то согласно теореме 9 N есть наименьшее число в множестве Z. Если же N не есть единица, то согласно аксиоме измеримости (IV_1 по Гильберту) существует конечное множество натуральных чисел, меньших, чем N. Обозначим это множество через Y. Если в множестве Z существуют такие элементы M, что $N < M$, то очевидно, что любой элемент из Y меньше любого числа M. Пусть $X = Y \cap Z$. Если $X = \varnothing$, то очевидно, что N есть наименьший элемент в Z. Если множество X не пусто, то оно, несомненно, есть конечное множество (т. к. Y – тоже конечное множество). Тогда по лемме 1 в нём есть наименьший элемент. Этот элемент, очевидно, является наименьшим и для всего множества *Z*.

Теорема 13 (принцип индукции). Если некоторое утверждение справедливо для единицы и из того, что оно справедливо для натурального числа *N*, следует, что оно справедливо для числа $N+1$, то это утверждение справедливо для любого натурального числа.

Доказательство (методом от противного). Пусть *Z* есть непустое множество натуральных чисел, для которых несправедливо некоторое утверждение *Q*, удовлетворяющее условиям теоремы. Тогда согласно лемме 2 в множестве *Z* существует наименьшее число *N*. Поскольку по условиям теоремы утверждение *Q* справедливо для единицы, то *N* не является единицей. Следовательно, по теореме 12 существует такое натуральное число *M*, что $N = M + 1$, а согласно теореме 8 $M < N$. Значит, поскольку *N* есть наименьше число в множестве *Z*, число *M* к множеству *Z* не принадлежит. Следовательно, для него выполняется утверждение *Q*. Но тогда по условиям теоремы это утверждение выполняется и для числа $M+1$, т. е. для *N*, что противоречит утверждению о принадлежности *N* к множеству *Z*. Полученное противоречие доказывает теорему 13.

Таким образом, нам удалось построить «геометрический анализ», т. е. редуцировать арифметику (по крайней мере, «школьную арифметику» или «арифметику Клини» - ту, которая задаётся аксиоматикой Пеано, дополненной аксиомами А6 – А9) к геометрии. Неопределяемые понятия Пеано заданы нашими определениями 2, 9 и 11, а его аксиомы соответствуют в нашем изложении определению 9, а также теоремам 10 – 13. Понятия суммы и произведения чисел, вводимые как неопределяемые Клини, задаются нашими определениями 7 и 8, а аксиомы, связанные с этими понятиями, - определениями 8 и 11, а также теоремами 2 и 6.

Можно заметить, однако, что в построенной нами теории нет определения такой операции над числами как возведение в степень. Эта операция оказывается невыразимой геометрическими средствами. В самом деле, давно известно, например, что задача об удвоении куба (построить куб, объём которого был бы вдвое больше, чем объём данного куба) неразрешима с помощью циркуля и линейки. А если бы нам удалось определить на числовой прямой точку, соответствующую произвольной степени произвольного числа, то удалось бы, очевидно, построить и точку, соответствующую числу $2^{\frac{1}{3}}$, что означало бы разрешимость указанной задачи[1]. Таким образом, геометрия оказывается «равномощной» лишь элементарной арифметике, а пополнение арифметики даже такой операцией как возведение в степень делает её теорией более общей, чем геометрия. Тем более, это относится к математическому анализу, так что наименование нашей теории «геометрическим анализом» носит чисто условный характер: оно порождено аналогией с выражением «аналитическая геометрия», которое не имеет прямого отношения к математическому анализу, поскольку во времена Декарта такой дисциплины факти-

---

[1] Осознанием этого факта я обязан В. В. Фоку, которому и приношу здесь свою признательность.

чески ещё не существовало[2].

Выяснение вопроса о сравнительной общности геометрии и арифметики не снимает, однако, вопроса о причинах их параллельного существования в истории. Хотя в математике понятия «точка» и «число» часто употребляются как синонимы, мы на интуитивном уровне всё же чувствуем, что арифметика и геометрия описывают *разные* «миры» (вне зависимости от нашего отношения к реальности этих «миров»). И если аксиоматика есть более строгое описание наших интуитивных представлений о той или иной реальности, то и данное интуитивное различение арифметики и геометрии должно находить какое-то отражение в аксиоматике этих дисциплин.

Поставленный вопрос уже был частично решён нами в отношении арифметики при рассмотрении понятий «сумма» и «произведение». Мы редуцировали к геометрии систему, состоящую из аксиом А1 – А5 и А6 – А9, но заметили, что аксиомы А6 – А9 могут быть заменены «аксиомой счёта» (А5а). Для выражения этой аксиомы, по-видимому, нет средств в «геометрии Гильберта», и, скорее всего, именно она выражает нашу первичную интуицию о числах, позволяющую нам отличать их от любых других объектов, в том числе и от геометрических. Аналогично можно попытаться сформулировать «специфически геометрическую» аксиому, несводимую к арифметическим утверждениям и выражающую наши первичные интуитивные представления об объектах, которые мы традиционно рассматриваем как геометрические. В качестве такой аксиомы я предлагаю следующую «аксиому пространства»:

Существует пространство, которое представляет собой такое множество точек, что любые другие множества точек, рассматриваемые как объекты геометрии, являются его подмножествами. Их можно перемещать в пространстве, и существование такого перемещения, при котором два объекта совпадают друг с другом, позволяет говорить об их равенстве.

В аксиоматике Гильберта этой аксиомой можно заменить аксиомы конгруэнтности (III_1 – III_5), на что указывал и сам Гильберт (1948, стр. 66), утверждая, что эти аксиомы «…определяют понятие конгруэнтности и тем самым понятие движения».

Таким образом, подводя итоги настоящего раздела, можно отметить, что арифметика и геометрия описывают разные (по крайней мере, на интуитивном уровне) «миры». Однако, между этими «мирами» существует глубокий изоморфизм. Для его описания необходимо и достаточно рассмотрения тех двух отношений, которые Гильберт (1948) ввёл в качестве неопределяемых в аксиоматику геометрии: отношения «между» и отношения конгруэнтности интервалов (или равенства разностей, если речь идёт о числах). Этот изоморфизм выражается в существовании аналитической геометрии и «геометрического анализа», а также «смешанных» разделов внутри каждой из рассматриваемых дисциплин (внутри геометрии таким разделом,

[2] Ю. А Гастевым (1963) обоснована возможность построения математического анализа на основе «аксиоматизированной геометрии прямой», однако такое построение касается лишь выражения (и доказательства) *предложений* анализа и не распространяется на выражение его *понятий,* для которого, по мнению автора, вероятно, понадобится расширение понятийно-аксиоматического языка геометрии.

использующим арифметические понятия и методы, является учение об измерении расстояний, площадей и объёмов, а внутри арифметики – учение о тригонометрических функциях, опирающееся на геометрическое понятие угла). В большинстве практических задач мы не выходим за рамки описанного изоморфизма, но некоторые из этих задач легче формулируются и решаются на языке геометрии, а некоторые – на языке арифметики. Это обстоятельство и обуславливает параллельное сосуществование обеих дисциплин на протяжении всей истории математики.

2. «Наивное» время и его измерение

Ньютон, родившийся в год смерти Галилея и за восемь лет до смерти Декарта, явился достойным продолжателем их дела. Широко известно его изречение: «Я видел далеко, потому что стоял на плечах гигантов». По-видимому, именно интеллектуальные результаты Галилея и Декарта послужили Ньютону источником вдохновения для окончательного оформления той (субстанциональной) концепции времени, основы которой были заложены ещё древнегреческими философами милетской школы (Симаков, 1994) и которая ныне чаще называется ньютоновской. Ньютон понимал время как некую абсолютную равномерную (т. е. однородную, симметричную в смысле равноправия всех своих элементов) длительность, в которую погружены все процессы, протекающие в мире, и называл такое время «математическим». Очевидно, собственные свойства времени мыслились им как изоморфные свойствам направленной прямой (оси) и множества действительных чисел. Тем самым изоморфизм, намеченный Галилеем и Декартом, стал тройным: к множествам чисел и точек добавилось множество моментов времени.

Теперь, после того, как мы построили «геометрический анализ», нам будет очень просто записать систему аксиом, которая «по образу и подобию» прямой линии и множества действительных чисел описывала бы наивное представление о времени. В качестве неопределяемых будем рассматривать понятия «момент времени», «раньше» (бинарное отношение на множестве моментов времени) и «конгруэнтность» (бинарное отношение на множестве интервалов времени; само понятие интервала времени неопределяемым не является, и его определение будет дано ниже).

Аксиома Т1. Существует, по крайней мере, два[1] момента времени.

Аксиома Т2. Если *K* и *L* – различные моменты времени, то можно говорить, что момент *K* наступает раньше момента *L*, в том и только том случае, когда неверно, что момент *L* наступает раньше момента *K*.

---

[1] Поскольку мы не собираемся редуцировать арифметику или геометрию к «теории наивного времени», а всего лишь хотим показать глубокое подобие, существующее между этими теориями, то здесь (в отличие от «геометрического анализа») мы можем считать уже заданными все понятия и аксиомы как геометрии, так и арифметики (включая аксиому счёта) и использовать их в своём построении.

Аксиома Т3. Если момент *K* наступает раньше момента *L*, а момент *L* – раньше момента *M*, то момент *K* наступает раньше, чем момент *M*.

Из аксиом Т2 и Т3 вытекает, что отношение «раньше» есть отношение строгого порядка и, следовательно, обладает свойством антирефлексивности: никакой момент времени не наступает раньше самого себя.

Если момент *K* наступает раньше момента *L*, то *интервалом* времени *(K; L)* будем называть множество моментов *M*, таких что момент *K* наступает раньше момента *M*, а момент *M* – раньше момента *L*.

Аксиома Т4. Если *(K; L)* – интервал времени, а *M* – произвольный момент, то существуют такие моменты *N* и *N'*, что момент *M* наступает раньше момента *N* момент *N'* наступает раньше момента *M* и при этом оба интервала *(M; N)* и *(N'; M)* конгруэнтны, т. е. равны интервалу *(K; L)*.

Аксиома Т5. Если интервалы *(K'; L')* и *(K''; L'')* конгруэнтны одному и тому же интервалу *(K; L)*, то интервал *(K'; L')* конгруэнтен также интервалу *(K''; L'')*.

Аксиомой Т5 утверждается транзитивность отношения конгруэнтности на множестве интервалов времени. На основании аксиом Т1 – Т5 может быть доказана также рефлексивность (всякий интервал конгруэнтен самому себе) и симметричность [если интервал *(K; L)* конгруэнтен интервалу *(K'; L')*, то интервал *(K'; L')* конгруэнтен интервалу *(K; L)*] этого отношения. Таким образом, отношение конгруэнтности интервалов времени есть отношение эквивалентности.

Аксиома Т6 (аксиома измеримости). Пусть *(K; L)* и *(M; N)* – два каких-нибудь интервала времени. Тогда существует конечное множество моментов времени K_1, K_2, K_3, …, K_{n-1}, K_n, таких, что момент *K* наступает раньше момента K_1, момент K_1 – раньше момента K_2, момент K_2 – раньше момента K_3, …, момент K_{n-1} – раньше момента K_n, момент *L* принадлежит интервалу $(K_{n-1}; K_n)$, и при этом все интервалы $(K; K_1)$, $(K_1; K_2)$, …, $(K_{n-1}; K_n)$ конгруэнтны интервалу *(M; N)*.

Аксиома Т7 (аксиома полноты). Моменты времени образуют систему, которая при сохранении аксиом Т1 – Т4 и Т6 не допускает никакого расширения, т. е. к этой системе моментов невозможно прибавить ещё моменты так, чтобы в системе, образованной первоначальными и добавленными моментами, выполнялись бы все указанные аксиомы.

Время, описанное данной системой аксиом, обладает, очевидно, следующими фундаментальными свойствами, вытекающими из его изоморфизма множеству действительных чисел и прямой линии:

1. *Континуальность*. Множество моментов времени имеет мощность континуума.
2. *Упорядоченность*. Множество моментов времени линейно упорядочено от-

ношением строгого порядка «раньше». Это отношение естественным образом задаёт на множестве моментов времени интервальную топологию, так что данное множество может рассматриваться как топологическое пространство.

3. *Плотность*. Множество моментов времени всюду плотно.
4. *Связность*. Время представляет собой связное топологическое пространство.
5. *Однородность*. Время обладает «трансляционной» симметрией, т. е. все его свойства инвариантны относительно любого переноса из одного момента в другой. В этом смысле все моменты времени «равноправны», т. е. в каждый момент время обладает такими же свойствами, как и в любой другой. В физике однородность времени рассматривается как чрезвычайно важное свойство: согласно теореме Нетер из неё выводится закон сохранения энергии (Аронов, Угаров, 1978). Однако, поскольку теорема, обратная к теореме Нетер, неверна, нарушение этого свойства может и не приводить к нарушению закона сохранения энергии и в нашем мире, где энергия, безусловно, сохраняется, физическое время, вообще говоря, не обязано быть однородным.

Понятно, что измерение (т. е. соотнесение с множеством действительных чисел) «наивного» времени должно быть очень простым ввиду глубокого сходства между обоими множествами, заложенного в самое основание концепции «наивного» времени ещё Ньютоном при её создании. Рассматривая измерение времени в рамках теории измерений, в качестве эмпирической системы следует, очевидно, рассматривать множество моментов времени с заданными на нём отношениями. Одним из таких «системообразующих» отношений будет отношение «раньше», а вторым – отношение между моментами, задаваемое тем отношением, которое мы рассматривали на множестве временных интервалов и называли конгруэнтностью. Для того, чтобы отличить это второе отношение между *моментами* от отношения между *интервалами,* а также от отношения конгруэнтности между элементами эмпирической системы, часто рассматриваемого в теории измерений, введём для его обозначения специальный термин – *эквилататность* (от лат. aequilatatio – равное расстояние). Эквилататность, таким образом, есть четырёхместное отношение на множестве моментов времени, однозначно определяемое следующим условием: если два интервала времени конгруэнтны друг другу (и только в этом случае), то концы этих интервалов находятся друг с другом в отношении эквилататности.

Определённая таким образом эмпирическая система «наивного» времени является неприводимой в силу линейной упорядоченности множества моментов по отношению «раньше». Шкала такого времени будет представлять собой изоморфизм, где отношению «раньше» между моментами соответствует отношение «меньше» (или «больше») между числами, а отношению эквилататности - отношение, определяемое равенством разностей двух пар чисел.

Для практического построения шкалы (т. е. измерения) времени используются различные приборы, называемые часами. Действие подавляющего большинства часов основано на некоторых *периодических* процессах, обеспечивающих конгруэнтность временных интервалов (и тем самым эквилататность моментов). Связано это, по-видимому, с особенностями нашей временнóй интуиции, основу которой составляет память: только благодаря памяти мы вообще знаем о существовании времени. В нашей памяти хранятся не только следы тех впечатлений, которые мы получили от внешнего мира, но и представления о *порядке,* в котором мы эти впечатления получали. Вероятно, поэтому мы вслед за Ньютоном склонны уподоблять время не просто прямой линии, а именно *направленной* прямой (оси). По той же причине в вышеприведённой аксиоматике «наивного» времени в качестве неопределяемого понятия, задающего топологию, вводится отношение «раньше», а не отношение «между», как это было сделано для прямой линии в аксиоматике Гильберта (1948).

Упорядоченную последовательность образов, хранящуюся в памяти, можно назвать субъективным временем. При этом мы, в основном, склонны доверять своей памяти в отношении того, «чтó было раньше, а чтó – потóм», тогда как такие понятия, как «давно» или «скоро», обычно считаются «субъективными» и плохо определёнными. Другими словами можно сказать, что у нас хорошо развита интуиция отношения «раньше» и плохо – интуиция отношения эквилататности. Поэтому при измерении времени мы обычно стараемся как-то «объективировать» конгруэнтность временных интервалов, тогда как отношение «раньше» в такой объективации не нуждается, будучи очевидным на интуитивном уровне. Функцию объективации отношения эквилататности как раз и выполняют периодические процессы, лежащие в основе измерения времени: мы можем считать конгруэнтными интервалы времени, разделяющие одинаковые стадии того процесса, на котором основано действие применяемых нами часов. При этом в качестве эмпирического факта можно отметить существование большого числа часов, которые идут *равномерно* друг относительно друга: отношение эквилататности во временах, измеряемых разными часами, сохраняется при синхронизации этих часов друг с другом. Равномерность – это как раз та общность процессов, выражением которой является понятие «наивного» времени.

Очевидно, что описанные выше шкалы времени инвариантны относительно любых линейных преобразований, однако, существуют монотонные непрерывные преобразования (нелинейные), недопустимые для них. В самом деле, пусть, например, K, L, M и N – моменты времени, находящиеся в отношении эквилататности, а μ – какая-нибудь шкала «наивного» времени. Тогда:

$$\mu(L) - \mu(K) = \mu(N) - \mu(M)\,.$$

Рассмотрим нелинейную числовую функцию $f(x) = x^3$. Хотя эта функция монотонна и непрерывна, но соотношение

$$f[\mu(L)] - f[\mu(K)] = f[\mu(N)] - f[\mu(M)]$$

может, вообще говоря, и не выполняться [например, если $\mu(K) = 1$, $\mu(L) = 2$, $\mu(M) = 3$, а $\mu(N) = 4$: $8 - 1 \neq 64 - 27$]. Следовательно, композиция отображений $f \circ \mu$ не является шкалой «наивного» времени, а шкала μ не инвариантна относительно преобразования f.

Таким образом, можно констатировать, что «наивное» время измеряется в шкалах интервалов.

Концепция «наивного» времени безраздельно господствовала в физике (и во всём остальном естествознании) на протяжении более трёхсот лет. Именно это обстоятельство позволяло записывать динамические (т. е. такие, где в качестве измеряемой величины фигурирует время) законы физики в виде дифференциальных уравнений[1]. И лишь в физике XX века основные свойства «наивного» времени начали ставиться под сомнение. Так линейная упорядоченность времени опровергается парадоксом близнецов, сформулированным в рамках теории относительности; космогоническая теория Большого взрыва говорит о начале времени и тем самым – о его неоднородности (наличии «сингулярностей»); гипотеза «дискретного»[2] времени, порождённая квантовой механикой, отрицает сразу три свойства, рассматривавшиеся нами как фундаментальные для «наивного» времени: континуальность, плотность и связность. Однако, насколько мне известно, измеряется физическое время до сих пор почти исключительно в шкалах интервалов. Впрочем, анализ современных представлений о физическом времени выходит за рамки, определяемые целями настоящей работы. Поэтому мы перейдём теперь к рассмотрению собственно геологического времени.

До сих пор все попытки построить корректную стратиграфическую теорию опирались исключительно на «наивные» представления о времени. Поэтому для того, чтобы сделать изложение более понятным в рамках сложившейся традиции, я тоже начну с описания некоторой «наивной» концепции, опирающейся на теорию Мейена (1989) и кратко изложенной мною ранее (Гоманьков, 2001б). Этот подход позволит наиболее рельефно выявить те противоречия, с которыми неизбежно сталкивается такая теория, и те её модификации, которые оказываются необходимыми для преодоления этих противоречий.

[1] В свете описанной концепции «наивного» времени, для которого существенно не только отношение «раньше», но также и отношение эквилататности, невозможно согласиться с утверждением Салина (1994, стр. 13) о том, что «никто не спорит» с А. Бергсоном по поводу того, что время в физике нужно лишь «для упорядочения множества событий».

[2] Деление множеств на «дискретные» и «непрерывные» представляется мне топологически безграмотным. Вся топология, по-видимому, учит тому, что «дискретности», равно как и «непрерывности», бывают *разными*. Каким, например, - дискретным или непрерывным – является множество иррациональных чисел (имеющее мощность континуума, всюду плотное, но не связное)? Разумнее, наверное, в каждом случае, когда речь идёт о «дискретности» или «непрерывности» какого-либо множества, более аккуратно и точно описывать его топологические свойства.

III. «Наивное время» в геологии

1. Принцип Стенона. Конкретный разрез и его расчленение

В основании стратиграфии, так же как многих других естественных наук, лежат три закона, которые Мейен (1989) называл принципами, подчеркивая их важную методическую роль. И в качестве первого (и исторически, и логически) из этих принципов следует назвать принцип Стенона. Как один из основополагающих принципов, на которых зиждется вся наука о геологическом времени, он почти единодушно рассматривается всеми теоретиками стратиграфии (см., например, Степанов, Месежников, 1979; Симаков, 1989; Попов, 2003). Однако, формулируется он по-разному и, как мы увидим дальше, его формулировка, которая была бы одновременно и корректной, и плодотворной для стратиграфии, представляет собой достаточно трудную задачу.

Как уже отмечалось, Стенон был младшим современником Декарта и старшим современником Ньютона. К. В. Симаков (1994) считает его основоположником особой «реляционно-генетической» концепции времени, отличной от «субстанциальной» концепции Ньютона. Но даже если это так, то следует признать, что данная концепция около 300 лет пребывала в забвении, поскольку в естествознании безраздельно господствовали наивные, ньютоновские представления о времени и даже все современные формулировки принципа Стенона, по-видимому, явно или неявно опираются на эти представления. В частности, мною (Гоманьков, 2001б, стр. 120) была предложена следующая формулировка данного принципа. *Любая область пространства, заполненная осадочной горной породой, является скалярным полем времени: каждой точке этой области может быть сопоставлена некоторая временна́я характеристика, обычно называемая возрастом и трактуемая как время образования породы в данной точке. «Кроме того, если рассматриваемая горная порода не претерпела за свою историю никаких пространственных перемещений (находится в ненарушенном залегании), то более молодые её части располагаются выше, чем более древние (возраст уменьшается при движении снизу вверх, против силы тяжести)».*

Эта формулировка требует, по крайней мере, двух оговорок. Во-первых, в некоторых случаях принцип Стенона может быть распространён не только на осадочные горные породы, но также и на магматические или метаморфические. Задумываясь о его применимости, мы фактически сталкиваемся с вопросом о том, что может и что не может являться объектом стратиграфии. Вопрос этот довольно интенсивно обсуждался в стратиграфической литературе (см., например, Стратиграфический кодекс, 1992; Жамойда, 1995), однако его подробное рассмотрение не входит в число наших задач. Поэтому здесь и далее мы ограничимся той областью, где принцип Стенона применим *заведомо* и *всегда,* т. е. той частью литосферы, которая сложена осадочными горными породами.

Во-вторых, «осадочное пространство», о котором идёт речь, обычно считается евклидовым, хотя, строго говоря, это не совсем верно. Осадочная горная порода имеет, как правило, довольно сложную структуру: она состоит из отдельных минеральных зёрен, соединённых цементом, который в свою очередь тоже состоит из отдельных зёрен, в ней присутствуют какие-то полости и т. д. Другими словами можно сказать, что для каждой точки рассматриваемого пространства существует некая минимальная окрестность определённого (не бесконечно малого) размера, внутри которой «содержимое» пространства уже не может рассматриваться как осадочная горная порода. Соответственно, рассмотрение окрестностей, меньших, чем минимальные, должно быть запрещено теорией, причём размеры минимальных окрестностей могут быть, вообще говоря, разными для разных точек. Все эти обстоятельства, вероятно, порождают в осадочном пространстве весьма своеобразную топологию, отличную от «нормальной» топологии, порождаемой евклидовой метрикой в евклидовом пространстве, однако, стратиграфы обычно пренебрегают всеми эффектами такого рода. Характерные размеры объектов, с которыми им приходится иметь дело, как правило, много больше, чем размеры минимальных окрестностей. Благодаря этому размеры минимальных окрестностей можно считать бесконечно малыми и использовать евклидово пространство для целей стратиграфии в качестве приемлемой геометрической модели.

Согласно принципу Стенона геологическое время *спациировано* или «опространствлено» (Драгунов, 1971; Мейен, 1989). Другими словами можно сказать, что временные отношения между геологическими объектами явлены нам и познаются через их пространственные отношения.

В соответствии с принципом Стенона через каждую точку пространства, заполненного осадочной горной породой, можно провести поверхность уровня, которую (коль скоро речь идёт о поле времени) естественно называть изохронной поверхностью. Кроме того, для каждой точки можно указать направление градиента времени, который будет нормальным к поверхности уровня. Собственно принцип Стенона гласит, что в некотором специальном, но достаточно часто встречающемся в природе случае, который называется ненарушенным залеганием, градиент времени в любой точке направлен вертикально вверх (против силы тяжести), а все изохронные поверхности представляют собой горизонтальные плоскости.

Иногда приходится слышать, что геологическое время имеет векторную природу, т. е. что оно само по себе как-то направлено в геологическом пространстве. Однако, всякий раз при попытке разобраться, что же при этом имеется в виду, выясняется, что в действительности речь идёт не о самóм времени, а именно о его градиенте, т. е. модель скалярного поля, более простая, чем векторная модель, оказывается достаточной для описания тех ситуаций, с которыми на практике имеют дело стратиграфы.

Линия, в каждой своей точке касательная к градиенту времени, называется *конкретным разрезом.* При ненарушенном залегании конкретный разрез представляет собой вертикальную прямую, однако в более сложных случаях линия конкретного разреза может быть не вертикальной или даже вообще не прямой. Существует и другое понимание конкретного разреза – не как линии, а как поверхности, секущей какое-либо геологическое тело.

Первое из упомянутых пониманий конкретного разреза близко по смыслу к понятию разреза, введённому Салиным (1994). Этот автор, однако, вообще избегает говорить о времени и вводит разрез как понятие неопределяемое, поясняя, что разрез есть направленная прямая – вертикальная или такая, вдоль которой сохраняется та же последовательность слоёв, что и вдоль вертикали. Что такое слой, он, впрочем, не поясняет, считая, видимо, смысл этого понятия (как его концепт, так и денотат) достаточно очевидным и «загоняя» его в «неопределяемость» понятия «разрез». Теоретическая база стратиграфии, построенная таким образом, представляется мне излишне бедной, т. к. полностью игнорирует такую важную и фундаментальную задачу стратиграфии как расчленение разрезов, решение которой, как мы сейчас увидим, теснейшим образом связано с понятием геологического времени и принципом Стенона. Кроме того, при различных нарушениях первичного залегания (как, например, в обнажении, изображённом на рисунке 2) вертикальная линия может следовать строго вдоль изохронной поверхности и, следовательно, не быть разрезом в нашем понимании (на языке Салина можно сказать, что вдоль такой линии не наблюдается *никакой* последовательности слоёв и, таким образом, остаётся непонятным, какое отклонение от вертикали можно считать «допустимым» в данном случае).

В соответствии с принципом Стенона в геологии принято различать два типа изменчивости осадочных горных пород. Изменчивость вдоль изохронной поверхности называется фациальной изменчивостью, и если она рассматривается как дискретная, то единица такой изменчивости называется *фацией.* Изменчивость вдоль градиента времени (или вдоль конкретного разреза в первом смысле) называется слоистостью, и если эта изменчивость рассматривается как дискретная, то единица такой изменчивости называется *слоем*[1]. Непреходящая и фунда-

[1] Наличие фациальной (т. е. принципиально не связанной со временем) изменчивости у осадочных горных пород не позволяет нам принять мейеновского определения времени, согласно которому время есть изменчивость индивида (Мейен, 1983; Оноприенко, 2005). Это определение представляется недостаточным, употреблённое в нём слово «изменчивость» нуждается в спецификации: *какая* именно изменчивость индивида является временем?

ментальная задача стратиграфии заключается в том, чтобы отличить слои от фаций. Она называется также задачей о расчленении разреза или задачей о реконструкции ненарушенного залегания и, очевидно, эквивалентна задаче определения в данном «осадочном пространстве» положения изохронных поверхностей и направления градиентов времени.

Важно отметить, что, несмотря на свою фундаментальность, задача о расчленении разреза не имеет универсального решения, пригодного для всех случаев жизни. Расчленение разреза – это своего рода искусство, сравнимое, например, с процедурой взятия неопределённого интеграла от функции в математическом анализе. Существует множество частных критериев для отличения слоёв от фаций. Так довольно большая по научным меркам (больше пятисот страниц) книга Р. Шрока (1950) от первой до последней строчки посвящена изложению различных критериев для определения направления градиента времени в осадочных породах. Однако каждый из этих критериев применим лишь для некоторого ограниченного класса ситуаций, а как решать задачу расчленения в общем случае, остаётся неизвестным.

Это обстоятельство представляется принципиальным, поскольку оно является одним из выражений той «неопределяемости» или логической первичности времени, о которой уже говорилось в разделе 2 «Введения». В самом деле, если бы существовал некий универсальный критерий расчленения разрезов, выразимый с помощью конечного текста, то его можно было бы принять за определение времени (по крайней мере, геологического). Но тот факт, что время полностью постижимо лишь на интуитивном уровне, выражается по отношению к рассматриваемой задаче в бесконечном разнообразии практических ситуаций, которое невозможно охватить каким-либо единым и конечно-выразимым методом рассмотрения, так что единственно универсальным способом решения задачи оказывается лишь обращение к интуиции.

Здесь, очевидно, неуместно пересказывать всю книгу Шрока, но об одном критерии, применимом и реально использующемся в подавляющем большинстве практических ситуаций, всё же необходимо сказать, поскольку он накладывает существенный отпечаток на все геологические представления о времени, являясь, как мы увидим дальше, следствием некоторых весьма фундаментальных свойств геологического времени, обуславливающих в значительной степени его специфику по сравнению, например, со временем физическим. Критерий этот заключается в том, что слои по сравнению с фациями имеют, как правило, гораздо более резкие границы (при анализе распределения какого-либо параметра вдоль произвольной траектории в «осадочном пространстве» оказывается, что модуль производной этого параметра на границе двух слоёв имеет ярко выраженный максимум), которые, к тому же, расположены параллельно друг другу.

Этот критерий настолько часто применяется в геологической практике, что некоторые авторы склонны рассматривать его как *определение* понятия слоя. Например (Сапфиров, 1974, цит. по «Общая стратиграфия…», 1979, стр. 330): «Слой – геологическое тело плитообразной формы, имеющее сравнительно небольшую толщину и значительную протяжённость, которое образовано осадочной породой, отличающейся по каким-либо признакам (чаще всего по составу или цвету) от смежных слоёв разреза». Понятие времени при таком подходе оказывается производным от понятия слоя, как это фактически имеет место в упоминавшейся выше кон-

---

Но задумываясь над этим вопросом, мы не находим никакого ответа кроме тавтологического: «временнáя». Таким образом, мы снова возвращаемся, к той августиновско-кантовской тавтологии, о которой шла речь в разделе 2 «Введения».

цепции Салина (1994). Однако, поскольку рассматриваемый (как и всякий другой) критерий слоистости не является универсальным, данный подход неоправданно сужает объектную область стратиграфии, исключая из неё реально существующие *неслоистые* (в смысле Г. Н. Сапфирова) толщи, для которых, тем не менее, оказываются возможными те или иные датировки.

По-видимому, именно в силу обсуждаемого критерия слоистости геологи склонны рассматривать (для целей стратиграфии) изменчивость осадочных горных пород как дискретную и оперировать при рассуждениях о времени с дискретными единицами, имеющими чёткие границы, внутри которых эти единицы могут считаться относительно однородными. Описания конкретных разрезов (как в первом, так и во втором смысле) выглядят большей частью как *конечные последовательности слоёв.* Именно поэтому процедура выделения временнóй составляющей в осадочном пространстве носит название *расчленения* вне зависимости от того, чтó понимается под конкретным разрезом. Различие же между двумя пониманиями выявляется в том, что при первом подходе мы полностью абстрагируемся от фациальной изменчивости каждого слоя, тогда как в рамках второго подхода она может так или иначе описываться и учитываться в дальнейших рассуждениях.

Утверждать, однако, что геологическое время в целом *дискретно,* - значит очень сильно упрощать ситуацию (см. также примечание к стр. 21). Ниже мы ещё вернёмся к этой теме, а здесь отметим лишь то обстоятельство, что процедура расчленения разреза может быть продолжена, вообще говоря, до бесконечности. В самом деле, каждый выделенный слой может сам по себе рассматриваться как область пространства, заполненная осадочной горной породой, и как таковая может так же быть подвергнут расчленению на более дробные слои. «Слоистая» структура геологического времени имеет фрактальный характер (рис. 3).

2. Принципы Смита-Гексли и Мейена. Сопоставление разрезов и МСШ

Со вторым и третьим принципами стратиграфии связано введение понятия синхронности и решение второй фундаментальной стратиграфической задачи, называемой задачей о сопоставлении или корреляции разрезов. Эти принципы позволяют сопоставлять или сравнивать друг с другом разные разрезы, т. е. считать некие слои или границы между слоями одного разреза *синхронными* каким-либо слоям или, соответственно, границам другого разреза.

Второй принцип стратиграфии называется принципом гомотаксальности, и Мейен (1989) считает его автором Т. Гексли. Однако, ещё до Гексли тот же принцип, по существу, был сформулирован У. Смитом в виде широко известного утверждения, что синхронные слои содержат одинаковые таксоны ископаемых организмов (Попов, 2003). Это утверждение, очевидно, равносильно утверждению о синхронности двух границ, если на них обеих появляется или исчезает какой-нибудь таксон или, более широко, вообще какой-нибудь признак (рис. 4а). Гексли же только наложил на этот принцип ограничение, заключающееся в том, что корреляция, основанная на появлении или исчезновении, т. е. на таких признаках как «присутствие – отсутствие», не очень достоверна и ей следует (если это возможно) предпочитать корреляцию, основанную на одинаковых последовательностях «ненулевых» признаков, например, на смене в разрезе одного комплекса ископаемых организмов другим или, в пределе, одного таксона другим (Мейен, 1989). Таким образом, принцип гомотаксальности, если иметь в виду его автора, следует, видимо, именовать не принципом Гексли (как это делает Мейен), а принципом Смита-Гексли.

Третий принцип стратиграфии, иногда называемый принципом хронологической взаимозаменяемости признаков, был впервые отчётливо сформулирован самим Мейеном и по справедливости носит его имя. Этот принцип гласит, что отношение геологической синхронности обладает свойством транзитивности вне зависимости от тех признаков, по которым эта синхронность была установлена. Так, если мы установили синхронность слоёв (или границ) K и L на основании признака α, а синхронность слоёв (или границ) L и M – на основании признака β, то слои (соответственно, границы) K и M также синхронны друг другу даже в том случае, если никаких общих признаков у них не наблюдается (рис. 4б).

Принятие принципа Мейена в качестве одного из основополагающих принципов стратиграфии означает признание его первичности или *невыводимости* из каких-либо других положений, в частности, из каких-либо общих свойств геологического времени. Само геологическое время, таким образом, оказывается вторичным понятием по отношению к признакам слоёв: оно выводится из этих признаков и не существует независимо от них. Оперирование с разными типами признаков может естественно порождать разные «типы стратиграфий» - биостратиграфию, литостратиграфию, магнитостратиграфию и т. д. Однако, рассмотрение наряду с ними «хроностратиграфии», на котором настаивает, например, Х. Д. Хедберг («Международный стратиграфический…», 1978), абсурдно, т. к. времени, независимого ни от каких признаков, просто не существует. Слово «хроностратиграфия» представляет собой плеоназм (оно столь же избыточно, как, скажем, «геогеология»), поскольку всякая стратиграфия является «хроно» (т. е. исследует временные отношения между геологическими объектами), будучи наукой о геологическом времени.

В процессе сопоставления конкретных разрезов можно легко заметить аналогию с синхронизацией процессов, описанной в разделе 2 «Введения», и, таким образом, геологическая синхронность оказывается частным случаем «синхронности вообще». В результате применения этой процедуры возникает новое (абстрактное) понятие – «фактор-разрез». Такие «фактор-разрезы» получили в стратиграфии название *сводных разрезов*, а их элементы (классы синхронности слоёв) – *стратонов*. На практике, однако, сопоставляются обычно не сами конкретные разрезы, а их *описания*, которые (как уже отмечалось) носят характер конечных последовательностей слоёв. В результате сводные разрезы так же представляют собой конечные последовательности стратонов. Каждому стратону, как правило, присваивается собственное имя.

Сводные разрезы можно так же сопоставлять друг с другом, как и конкретные. В результате такого сопоставления может иногда возникнуть новый «фактор-разрез» (разрез более высокого «порядка сводности»), но в других случаях происходит как бы «поглощение» одного разреза другим. Такое поглощение называется *датировкой* или *привязкой к шкале* «поглощаемого» разреза. На множестве сводных разрезов существует как бы иерархия «конкретности-сводности». Если сопоставляемые разрезы относятся к одному уровню этой иерархии, то возникает новый разрез более высокого уровня сводности, по отношению к которому сопоставляемые разрезы выступают как конкретные. Если же сопоставляемые разрезы относятся к разным уровням рассматриваемой иерархии, то разрез более высокого уровня «поглощает» разрез более низкого и называется в этом случае *стратиграфической шкалой.* Понятие стратиграфической шкалы, таким образом, есть понятие относительное, оно неразрывно связано с «иерархией конкретности-сводности» и выражает асимметричное отношение «поглощения» одного разреза другим при их сопоставлении. Например, Н. Н. Форш (1963) описал разрез отложений татарского яруса по р. Вятке. По отношению к региональной шкале татарского яруса, принятой для всей Русской платформы, этот разрез несомненно является конкретным, а по отношению к разрезу обнажения в устье р. Дмитриевки он столь же несомненно является сводным и служит для него шкалой («шкалой Форша»), к которой это обнажение может быть привязано.

Подобно тому, как существуют «абсолютно конкретные» разрезы (линии в земной коре), существует и «абсолютно сводный» разрез, поглощающий любой другой с ним сопоставляемый. Такой «абсолютно сводный» разрез называется международной стратиграфической шкалой (МСШ). Иерархия «конкретности-сводности» разрезов имеет, следовательно, вид отрезка (множества бесконечного, но ограниченного), у которого есть два конца (МСШ и линия в каждой своей точке касательная к градиенту времени) и бесконечное множество положений, промежуточных между ними.

Таким образом, стратоны в нашем понимании суть *абстрактные понятия* – таксоны[1] слоёв. В этом понимании стратонов заключается, вероятно, самое главное отличие излагаемой здесь концепции от стратиграфической концепции Мейена, нашедшей также отражение в «Стратиграфическом кодексе» (1992). Мейен (1989; см. также Оноприенко, 2005) рассматривал стратоны как конкретные геологические тела – остатки некогда существовавших экосистем, которые обладали целостностью, в том числе и пространственно-временной. Всякая на-

[1] Следует, однако, помнить, что употребление слова «таксон» в данном контексте не вполне корректно. Дело в том, что это слово имплицитно содержит в себе апелляцию к систематике живых организмов, которая, в некотором смысле, «устроена» существенно проще, чем стратиграфические шкалы (Гоманьков, 2001а). С точки зрения теории измерений биологические классификации являются шкалами наименований (см. раздел 1 «Введения»). Для них существенны лишь отношения принадлежности к одному или к разным таксонам. Стратиграфические же шкалы (или стратиграфические классификации, как их иногда называют – см. Леонов, 1973; «Международный стратиграфический…», 1978 и др.), как мы увидим ниже, являются шкалами порядка: помимо принадлежности к одному или к разным стратонам сводного разреза для них существен *порядок* следования этих стратонов друг за другом внутри шкалы. Таким образом, стратиграфические шкалы богаче отношениями, чем биологические классификации, и, соответственно, имеют более узкий класс допустимых преобразований.

блюдаемая ныне пространственная «несвязность» стратонов, по мнению Мейена, вторична и случайна (она есть следствие вторичного разрушения геологических тел), а сопоставление разрезов есть *реконструкция*, т. е. восстановление некогда нарушенной связности.

Такое понимание стратонов и корреляционных процедур основывалось на безусловном противопоставлении таксономии, изучающей отношения типа «элемент-множество», и мерономии, предметом которой являются отношения типа «часть-целое» (Мейен, 1977). В свете этого противопоставления очевидно, что операция реконструкции носит *мерономический* характер. А поскольку стратиграфическую корреляцию, по крайней мере, в некоторых случаях (как, например, при корреляции разрезов, обнажённых по разным бортам одного и того же оврага) действительно можно рассматривать как реконструкцию, то из этого Мейеном делался вывод, что сопоставление разрезов *всегда* является процедурой мерономической.

Можно, однако, заметить, что любая мерономическая процедура является одновременно и таксономической (например, расчленяя какое-нибудь целое геологическое тело на отдельные части-слои, мы тем самым задаём *классификацию* минеральных зёрен, из которых это тело состоит, основанную на отношении «принадлежать одному и тому же слою»), так что мерономия представляет собой частный случай таксономии. С другой стороны, возможны такие ситуации, когда коррелируемые стратоны заведомо не могут рассматриваться как части одного геологического тела (существующего сейчас или существовавшего в прошлом). Например, никто не рассматривает в качестве частей одного геологического тела динант Западной Европы и миссисиппий Северной Америки, которые, тем не менее, объединяются в единый стратон МСШ, именуемый нижним карбоном. Объединение в данном случае осуществляется на основании принципа Смита-Гексли, который апеллирует к *идеальному сходству* сопоставляемых стратонов и ничего не говорит об их материальной связности. Таким образом, процедура стратиграфической корреляции может рассматриваться как мерономическая лишь в некоторых случаях, а как таксономическая – всегда. А поскольку нашей целью является построение *общей* теории стратиграфии, то мы должны рассматривать корреляционную процедуру в общем виде и, следовательно, приписывать стратонам статус абстрактных понятий, а не конкретных геологических тел. В этом развиваемая мной (Гоманьков, 2001б) концепция близка точке зрения А. В. Попова (2003, стр. 106), подчёркивавшего, что «…стратоны и их последовательности, которые являются результатом человеческой деятельности, представляют из себя условные абстрактные единицы стратиграфического времени, хотя и основаны на конкретных (материальных) объектах».

3. Измерение «наивного» времени в геологии. Стратиграфический парадокс

В разделе 3 «Введения» ситуация, сложившаяся к настоящему времени в стратиграфии, была охарактеризована как парадоксальная ввиду огромного числа конкурирующих теоретико-стратиграфических концепций. Мне представляется, что эта парадоксальность коренится даже не в «дискуссионном поле», т. е. не в сфере взаимодействия различных концепций, выставляемых для обсуждения, а глубже – *внутри* каждой из них. Все точки зрения, бытовавшие до настоящего времени в теории стратиграфии (или, по крайней мере, большинство из них), так или иначе сталкивались с некоторым парадоксом, который, однако, не осознавался их авторами. Ощущая интуитивно существование какого-то противоречия, они стремились вынести его «вовне», в сферу столкновения с другими точками зрения, что порождало лишь нескончаемые и бесплодные споры, нимало не способствуя выработке какой-либо универсальной концепции, которая могла бы стать общепризнанной (т. е. парадигмы).

Мейен, вероятно, ближе других авторов подошёл к осознанию этого парадокса, в качестве формулировки которого можно рассматривать мейеновское положение о том, что «С помощью имеющихся стратиграфических шкал мы не можем ничего измерить…» (Мейен, 1989, стр. 27). Парадоксальность данного утверждения очевидна в свете теории измерений, где понятия шкалы и измерения являются фактически тождественными (см. раздел 1 «Введения»), и только незнакомство с этой теорией помешало Мейену осознать внутреннюю противоречивость декларируемого им самим тезиса. В связи с этим характерно также название книги Попова (2003) «Измерение геологического времени», в которой *ни слова* не говорится о действительных числах – основе (с позиций теории измерений) всякой измерительной процедуры.

Очевидно, что оба автора интуитивно чувствовали сходство, существующее между стратиграфическими шкалами (сводными разрезами) и «шкалами-измерениями» теории измерений (Мейен выражал это сходство словом «шкала», а Попов – словом «измерение»), но не считали это сходство достаточно полным, чтобы рассматривать шкалы (или измерения) геологического времени в качестве частного случая «шкал (соответственно, измерений) вообще», как они рассматриваются в теории измерений. Для того чтобы понять, что же есть общего и в чём различия между стратиграфическими шкалами с одной стороны и «шкалами вообще» с другой, попробуем измерить (по всем канонам теории измерений) геологическое время в том виде, как оно было описано в двух предыдущих разделах.

Легко видеть, что процедура построения сводного разреза в результате сопоставления конкретных разрезов есть не что иное, как приведение эмпирической системы, элементами которой являются стратоны (или слои) конкретных разрезов. Синхронные стратоны при этом, очевидно, выступают как конгруэнтные элементы данной системы, а сводный разрез, возникающий в результате такого сопоставления, может уже рассматриваться в качестве системы неприводимой. Очевидно также, что отношения между стратонами конкретного разреза, сохраняющиеся в сводном разрезе при такой процедуре приведения (и, следовательно, являющиеся системообразующими в рассматриваемых эмпирических системах) суть отношения *по-*

рядка. В стратиграфической практике они обычно выражаются словами «до», «после», «раньше», «позже», «моложе», «древнее». Эти отношения можно очень легко выразить через отношение порядка между действительными числами (отношение «меньше»), если каким-нибудь образом занумеровать стратоны сводного разреза «снизу вверх», т. е. от более древних к более молодым. Подобная нумерация уже применяется кое-где в стратиграфии (например, для обозначения отделов внутри систем МСШ), хотя гораздо чаще в качестве собственных имён стратонов используются существительные или прилагательные: палеоцен, ордовик, сухонская свита, зона Virgatites virgatus и т. д. Ясно, однако, что поскольку названия стратонов совершенно условны, то процедура их переименования может быть легко произведена кем угодно и суть геохронологической шкалы от этого не изменится.

На практике (из-за потенциальной бесконечности расчленения конкретных разрезов – см. раздел 1) удобнее нумеровать даже не сами стратоны, а границы между ними. Тогда именем каждого стратона будет не одно число, а пара чисел, одно из которых соответствует его нижней, а другое – верхней границе. Если разрез будет затем детализироваться, т. е. в результате дальнейшего расчленения конкретных разрезов в нём появятся новые, промежуточные границы, то это не потребует перенумерации всех остальных границ, а новые границы могут получить соответствующие «промежуточные» (в общем случае дробные) номера. Например, если нижней границе некоторого стратона поставлено в соответствие число 2, а верхней – число 3, то сам этот стратон будет обозначаться как (2; 3). Если в дальнейшем в результате детализации шкалы он будет расчленён, скажем, на три части, то эти части будут обозначаться соответственно как $(2; \frac{7}{3})$, $(\frac{7}{3}; \frac{8}{3})$ и $(\frac{8}{3}; 3)$. Соответствие между отношениями «раньше-позже» и «больше-меньше» при этом, очевидно, во всех случаях сохранится.

Важно отметить, что номера границ при описанном гомоморфизме всегда будут выражаться *рациональными* числами и, следовательно, их множество не более чем счётно, как бы дробно мы не расчленяли разрез. Связано это с тем, что хотя конкретный разрез и представляет собой отрезок прямой или дугу кривой линии (т. е. множество точек континуальной мощности), но границы в нём всегда являются результатами применения финитной операции расчленения.

Из всего сказанного можно сделать вывод, уже анонсированный в конце раздела 1 «Введения», а также в примечании к странице 28: *стратиграфические шкалы, рассматриваемые в свете теории измерений, являются шкалами* ***порядка.*** Это положение, вероятно, наиболее рельефно выражает и сходство, и отличия, существующие между геологическим временем и большинством других физических величин: все эти величины *измеримы* (т. е. для них можно построить шкалы), но большинство физических величин (и физическое время в том числе) измеряются в шкалах интервалов или отношений, а геологическое время – в более «слабых» шкалах порядка. По-видимому, это обстоятельство и имел в виду Мейен, утверждая, что с помощью стратиграфических шкал ничего нельзя измерить: измерения по аналогии с большинством физических величин он мыслил лишь в шкалах, более «сильных» чем шкалы порядка.

Приведённое описание стандартных стратиграфических процедур на языке теории измерений позволяет более чётко сформулировать и то противоречие, которое выше было названо стратиграфическим парадоксом. В самом деле, если геологическое время «устроено», в принципе, так же, как и всякое другое (роль процессов в нём играют конкретные разрезы, а роль синхронизации – корреляция на основе принципов Смита-Гексли и Мейена), то почему оно измеряется в шкалах другого типа, чем время физическое? Основное отличие «наивного времени вообще» (см. раздел 2 «Введения») от геологического времени можно усмотреть в отношении *эквилататности,* которое присутствует в часах и сохраняется при синхронизации, но, по-видимому, отсутствует (или не принимается во внимание?) в стратиграфических шкалах. Аналогами часов в стратиграфии можно считать абсолютно конкретные разрезы, которые мы определили как некоторые линии в евклидовом пространстве, заполненном осадочной горной породой. Но для любой такой линии отношение эквилататности между её точками может быть задано вполне естественным образом в силу «тройного изоморфизма» Ньютона[1]!

Таким образом, рассматриваемый парадокс можно сформулировать в следующем виде. *С одной стороны, геологическое время спациировано, а с другой – оно измеряется в шкалах порядка.* Шкалы порядка не допускают рассмотрения в качестве адекватных таких отношений как эквилататность (как было показано в разделе 2 главы II, на множестве действительных чисел существуют такие монотонные и непрерывные преобразования, которые не сохраняют отношения равенства двух разностей), хотя между временем и пространством существует изоморфизм, в рамках которого такие отношения сохраняются.

Для того чтобы преодолеть это противоречие, нам придётся более детально рассмотреть топологическую структуру геологического времени и выйти за пределы концепции «наивного» времени.

IV. Принцип Дарвина. Реальная структура геологического времени

На вопрос о том, почему отношение эквилататности не сохраняется при синхронизации двух конкретных разрезов, можно дать лишь «философский» ответ – такова эмпирическая реальность. Когда в главе II мы рассматривали «наивное» время, то одно из отношений, суще-

[1] Более строго: отношение эквилататности было определено нами на множестве моментов времени, на множестве действительных чисел ему соответствует отношение, определяемое равенством разностей двух пар чисел, а на множестве точек какой-либо кривой – равенством двух дуг этой кривой (в случае прямой линии - равенством двух отрезков).

ственное для него, - отношение порядка сохранялось используемыми методами синхронизации (через процесс «я») в силу нашей интуиции, тогда как сохранение другого – отношения эквилататности – устанавливалось эмпирически: мы знаем о существовании большого числа процессов (часов), которые протекают равномерно друг относительно друга; эта относительная равномерность есть один из аспектов общности этих процессов, выражаемой самим понятием «время», поэтому отношение эквилататности оказывается «системообразующим» для соответствующей эмпирической системы. При рассмотрении же геологического времени применяются другие методы синхронизации, основанные на принципах Смита-Гексли и Мейена. Сохранение отношения порядка в этом случае постулируется: если в сопоставляемых разрезах наблюдается разный порядок анализируемых признаков, то такая ситуация рассматривается как нарушение гомотаксальности, а соответствующие признаки – как непригодные для корреляции данных разрезов. Что касается отношения эквилататности, то его сохранение при геологической синхронизации – скорее исключение, чем правило (рис. 5).

Обычно этот эмпирический факт обозначается утверждением, что скорость осадконакопления в каждом конкретном разрезе не есть величина постоянная и вообще характер её зависимости от времени, как правило, не известен[1]. Для корректного описания ситуаций, однако, достаточно допустить, что хотя бы в некоторых точках некоторых разрезов эта скорость равна нулю, т. е. что эти разрезы *не являются непрерывными.*

Ч. Дарвин был, вероятно, первым, кто обратил особое внимание на прерывистость осадконакопления как принципиальный стратиграфический факт, накладывающий отпечаток на фундаментальные свойства геологического времени. Подробному рассмотрению этого факта посвящена специальная глава «Происхождения видов» (10-ая в 6-ом лондонском издании 1872 г.), которая носит название «О неполноте геологической летописи» (цит. по русскому изданию 1991 г.). Соответственно, принцип Дарвина или принцип неполноты геологической летописи рассматривается рядом авторов (Садыков, 1974; Степанов, Месежников, 1979) как один из основополагающих принципов стратиграфии, хотя другие (Мейен, 1989; Попов, 2003) оспаривают его фундаментальность. Сказанного выше о несохранении эквилататности при геологической синхронизации, вероятно, достаточно для того, чтобы осознать необходимость включения принципа Дарвина в число основных (необходимых и достаточных) стратиграфических принципов.

Строго говоря, принципом Дарвина описывается некоторая специальная ситуация нарушения гомотаксальности, в которой, однако, (вопреки принципу Смита-Гексли), сопоставление разрезов оказывается возможным. А именно: если в одном разрезе наблюдается последовательность признаков $\alpha\to\beta\to\gamma$, а в другом - $\alpha\to\gamma$, то эти разрезы *могут* быть сопоставлены та-

[1] Понятие скорости (производной по времени) трудно определить в условиях, когда время измеряется в шкале порядка, однако, можно ввести в рассмотрение некоторый эталонный конкретный разрез, скорость осадконакопления в котором постоянна *по определению,* а скорости осадконакопления во всех других разрезах определять через сопоставление (обычными стратиграфическими методами) с этим эталоном.

ким образом, как это показано на рисунке 4в. При этом с границей *F/E* второго разреза синхронизируется не одна, а две границы первого (*L/K* и *M/L*), а про стратон *L*, характеризующийся признаком β*,* говорится, что он «выпадает» из второго разреза или «соответствует перерыву» в нём. Выпадение стратонов или перерыв может, вообще говоря, ожидаться на любой границе любого разреза, но при этом *только* на границе, т. к. выявить этот перерыв можно лишь путём корреляции данного разреза с другим, более полным, где присутствует «выпадающий» стратон.

Наличием перерывов, по-видимому, объясняется та резкость границ между слоями (в сравнении с фациальными границами), о которой говорилось в разделе 1 главы III. Поскольку эта резкость является критерием расчленения разреза, то утверждение о наличии перерыва (актуально или потенциально наблюдаемого) на любой границе можно прочитать «в обратную сторону»: при расчленении разреза границы между стратонами можно проводить лишь на тех уровнях, где допустимо наличие перерыва. В связи с этим абсолютно бессмысленной выглядит рекомендация Международной стратиграфической комиссии (Remane et al., 1996; пункт 4.1.2) выбирать стратотипы границ МСШ в непрерывных разрезах. Выбранные таким образом границы невозможно проследить никуда за пределами эталонного конкретного разреза, и они не имеют даже права называться границами, будучи всего лишь *точками* на линии, соответствующей этому разрезу.

Если считать, что один из сопоставляемых конкретных разрезов является абсолютно полным (т. е. выпадение стратонов наблюдается только во втором разрезе), то кажется, что процедуру корреляции можно рассматривать как отображение второго разреза в первый. Однако, это неверно. Дело в том, что множество «граничных» точек в каждом разрезе имеет счётную мощность, хотя и является всюду плотным (оно возникает в результате применения финитных процедур расчленения, хотя множество таких процедур может быть и бесконечным – см. раздел 1 главы III), а множество *всех* точек разреза имеет, очевидно, мощность континуума. Без потери общности можно считать, что в каждом разрезе рассматриваются лишь рациональные точки[1] (вспомним результат, полученный в пункте 3 главы III: при нумерации стратиграфических границ им всегда соответствуют только рациональные числа). Корреляцию иррациональных точек можно было бы осуществить с помощью предельного перехода: если иррациональная точка *L* второго разреза является пределом последовательности рациональных точек $K_1, K_2, \ldots, K_n, \ldots$, каждой из которых поставлена в соответствие некоторая рациональная точка первого разреза $f(K_i)$, где f – предполагаемое отображение второго разреза в первый, то точке *L* можно поставить в соответствие ту точку, которая является пределом последовательности точек $f(K_1), f(K_2), \ldots, f(K_n), \ldots$ Однако, в силу принципа Дарвина предполагаемое отображение не может быть непрерывным, поэтому в общем случае предел последовательности $\{f$

[1] Их множество тоже счётно и всюду плотно.

$(K_i)\}$ не существует и образ точки L в первом разрезе остаётся неопределённым.

Можно предложить и другое «доказательство методом от противного» того факта, что геологическое время имеет иную топологическую структуру, чем «наивное». В самом деле, если пытаться описать геологическое время терминах «ньютоновского изоморфизма», то время, запечатлённое в абсолютно конкретном разрезе, в силу принципа Дарвина оказывается изоморфным не отрезку вещественной прямой, а канторовскому дисконтинууму[1], в котором существуют точки двух типов – односторонние и двусторонние. Множество односторонних точек счётно, и среди них есть такие пары ($M; N$), что между точками M и N нет никаких точек, принадлежащих данному дисконтинууму. Что же касается двусторонних точек, то их множество имеет мощность континуума и между любыми двумя двусторонними точками найдутся как односторонние, так и двусторонние точки. Канторов дисконтинуум есть нигде не плотное множество, которое, однако, не содержит изолированных точек.

Аналогично в абсолютно конкретном разрезе можно различать точки двух типов – «граничные», т. е. соответствующие (хотя бы потенциально) границам стратонов, и «внутренние», которые ни при каком расчленении не окажутся лежащими на какой бы то ни было границе. Хотя множество граничных точек и бесконечно (в силу потенциальной бесконечности расчленения разрезов), но оно имеет лишь счётную мощность, тогда множество внутренних точек (так же, как и весь конкретный разрез) имеет мощность континуума. При сопоставлении разрезов синхронными могут считаться лишь (некоторые) граничные точки, тогда как о синхронности внутренних точек ничего сказать нельзя. Геологическое время в целом «возникает» в результате обобщения процедуры корреляции, поэтому мы должны считать, что оно состоит из моментов, соответствующих лишь коррелируемым точкам конкретных разрезов, и таким образом, представляет собой счётное множество.

Описанная выше структура абсолютно конкретного разреза заставляет нас пересмотреть и формулировку принципа Стенона, данную в разделе 1 главы III, а вместе с ней – и само понятие конкретного разреза. Такие понятия, как скалярное поле времени и градиент этого поля подразумевают наличие у времени «нормальной» топологической структуры (т. е. соответствующей «наивной» ньютоновской концепции) и, следовательно, измеримость времени в

---

[1] Рассмотрим отрезок *KL*. Разделим его каким-нибудь образом на три части, например, - *KM*, *MN* и *NL* и «выбросим» (исключим из дальнейшего рассмотрения) внутренние точки отрезка *MN*. У нас вместо одного отрезка получится два: *KM* и *NL*. Поступим с каждым из них таким же образом, как мы поступили с отрезком *KL*. Получим четыре отрезка, например, - *KE*, *FM*, *NU* и *VL*. Множество точек, которое получится в результате применения этой процедуры бесконечное число раз, называется *канторовым дисконтинуумом.* О свойствах этого во многих отношениях замечательного множества, которое, кстати, является одним из простейших примеров фрактала, можно более подробно прочитать, например, в учебнике П. С. Александрова (1977). Вероятно, именно такую «фрактальную прерывистость» геологического времени и имел в виду Дарвин (рассуждавший, разумеется, исключительно в рамках «наивных» представлений о времени) в знаменитом фрагменте 10-й главы «Происхождения видов»: «Что касается меня, то, следуя метафоре Ляйеля, я смотрю на геологическую летопись как на историю мира, не вполне сохранившуюся и написанную на менявшемся языке, историю, из которой у нас имеется только один последний том, касающийся только двух или трёх стран. От этого тома сохранилась лишь в некоторых местах краткая глава, и на каждой странице только местами уцелело по нескольку строчек» (Дарвин, 1991, стр. 289 – 290).

шкале интервалов. Иная же структура времени и иной тип шкалы для его измерения, вытекающие из принципа Дарвина, вынуждают и к иному описанию пространственно-временных отношений в земной коре, с наблюдения которых по существу начинается всякое стратиграфическое исследование[1]. Из понятий, рассматривавшихся в разделе 1 главы III, мы можем теперь сохранить, пожалуй, лишь понятие изохронной поверхности, да и то утверждение о том, что такую поверхность можно провести через каждую точку пространства, заполненного осадочной горной породой (см. стр. 23), следует признать неверным.

В свете согласования с принципом Дарвина (и преодоления «стратиграфического парадокса») можно дать здесь следующую новую формулировку принципа Стенона:

В любой области пространства, заполненной осадочной горной породой, существует счётное множество изохронных поверхностей (т. е. поверхностей, все точки которых синхронны друг другу). Если рассматриваемая горная порода не претерпела за свою историю никаких пространственных перемещений (находится в ненарушенном залегании), то все эти поверхности представляют собой горизонтальные (нормальные к силе тяжести и, следовательно, параллельные друг другу) плоскости.

Конкретным разрезом при этом можно называть любую линию, нормальную ко всем изохронным поверхностям, которые она пересекает, а слоем – единицу изменчивости горной породы при прослеживании её вдоль конкретного разреза.

Поскольку шкалы порядка определяются как инвариантные относительно любых монотонных непрерывных преобразований (Пфанцагль, 1976), то «прерывистость» конкретных разрезов, постулируемая принципом Дарвина, может показаться препятствием для измерения геологического времени даже в шкалах порядка. Однако, отсутствие непрерывности (в топологическом смысле) проявляется существенным образом лишь при корреляции конкретных разрезов, т. е. на стадии «приведения» эмпирической системы. Именно эта процедура «приведения» заставляет нас перейти от рассмотрения континуальных отрезков или дуг с отношениями эквилататности (абсолютно конкретных разрезов) к счётным множествам без таких отношений. В результате геологическое время в целом, рассматриваемое как неприводимая система, оказывается счётным множеством моментов, единственным «системообразующим» отношением на котором является отношение строгого порядка «раньше». Согласно лемме 4.2.1 И. Пфанцагля (1976, стр. 76) шкала порядка существует для всякой линейно упорядоченной эмпирической системы, имеющей счётную мощность. Но является ли геологическое время *линейно* упорядоченным?

Салин (1994) считает, что границы стратонов МСШ окружают всю Землю, создавая стратиграфическую структуру земной коры, подобную вернеровской «луковице». Несомненно,

[1] Данное обстоятельство можно также рассматривать в качестве проявления «стратиграфического парадокса», описанного в разделе 3 главы III: начав построение теории с понятия скалярного поля времени, мы пришли в конце концов к невозможности его использования.

что в рамках таких представлений геологическое время (по крайней мере, измеряемое МСШ) линейно упорядочено: из любых двух различных границ одна всегда либо древнее, либо моложе другой. Однако, Мейен (1989) обратил внимание на то, что в действительности мы наблюдаем в земной коре принципиально другую стратиграфическую структуру. Его рисунок, иллюстрирующий это положение, воспроизводится здесь (рис. 6) с некоторыми дополнениями и изменениями. Из этого рисунка хорошо видно, что реальная стратиграфическая структура земной коры на вернеровскую «луковицу» походит очень мало. И дело здесь не только в том, что некоторые границы упираются друг в друга (как, например, граница L упирается в границу M, а граница V – в границу J), знаменуя наличие перерывов. Гораздо интереснее другой факт, подмеченный Мейеном: резкость каждой границы может меняться при переходе от одного разреза к другому вплоть до её (границы) полного исчезновения! Другими словами, при трассировании изохронных поверхностей граничные точки одного конкретного разреза могут оказаться соответствующими внутренними точкам другого разреза. Это значит, что при корреляции, даже если ограничиться лишь рассмотрением граничных точек, среди них будут существовать как «коррелируемые», так и «некоррелируемые», т. е. такие, которым в другом разрезе не может быть сопоставлена никакая точка, как бы дробно этот второй разрез не расчленялся. Например, обращаясь к рис. 6, мы можем сказать, что граница U разреза 2 моложе границы H и древнее границы J разреза 1, но ничего не можем сказать о её временных отношениях с границей I.

Понятно, что это порождает весьма сложную пространственную структуру геологического времени. Можно сказать, что оно «течёт» по-разному в разных географических точках. Как должна быть устроена шкала такого «многоколейного» времени, сказать трудно. В практической стратиграфии эта трудность преодолевается с помощью введения так называемых региональных стратиграфических шкал (РСШ), т. е. сводных разрезов, корреляция которых друг с другом проблематична, а может быть, и вообще невозможна. Таким образом, вместо единственного, но «многоколейного» времени стратиграфы предпочитают рассматривать множество геологических времён, каждое из которых характеризуется определённой географической привязкой и измеряется с помощью своей собственной шкалы. Поскольку основная наша задача – анализ измерения геологического времени (или, что то же самое, - стратиграфических шкал), то и мы будем следовать этой традиции, считая, что всякая РСШ есть инструмент измерения *времени*, которое, впрочем, может быть *иным* для другой РСШ.

Таким образом, каждый сводный разрез можно рассматривать как отдельное время, моменты которого (классы синхронных коррелируемых точек конкретных разрезов), естественно, линейно упорядочены. Всякое такое время, как уже отмечалось, может быть измерено с помощью шкалы порядка, и всякой стратиграфической шкале (РСШ или МСШ) может быть сопоставлена шкала (порядка) в смысле теории измерений.

V. Заключение

Подведём некоторые итоги.

Для адекватного и точного описания «наивного» (т. е. изоморфного множеству действительных чисел и направленной прямой линии) ньютоновского времени необходимо и достаточно рассмотрения на множестве его моментов двух отношений: бинарного отношения строгого порядка, обычно выражаемого словом «раньше», и четырёхместного отношения эквилататности, соответствующего интуитивным представлениям о равенстве временных интервалов. Геологическое время имеет иную топологическую структуру, чем «наивное» время (не гомеоморфно ему).

Несмотря на спациированность (в соответствии с принципом Стенона) геологического времени, конкретные разрезы (линии в земной коре) в силу принципа Дарвина не изоморфны тем интервалам времени, которые в них отражаются. В каждом конкретном разрезе можно различать точки двух типов – граничные и внутренние. Оба множества этих точек всюду плотны, но множество граничных точек счётно, а множество внутренних точек континуально (здесь имеется полная аналогия с рациональными и иррациональными точками вещественной прямой). Среди граничных точек можно при корреляции с другим разрезом так же различать два типа: точки коррелируемые и некоррелируемые. Множество коррелируемых точек как подмножество счётного множества граничных точек всегда не более чем счётно.

Таким образом, геологическое время, которое трактуется мною как «фактор-разрез» (т. е. строится на основании сопоставления конкретных разрезов друг с другом), оказывается не изоморфным какой-либо линии в пространстве и, следовательно, - множеству действительных чисел. Множество моментов геологического времени имеет счётную мощность (а не мощность континуума) и может быть сопоставлено лишь с множеством рациональных чисел. Кроме того, для моментов геологического времени в общем случае не осмыслено отношение эквилататности, являющееся обязательным атрибутом «наивных» представлений о времени.

Описанные отличия геологического времени от «наивного» выступают наиболее рельефно в процедуре измерения. Стратиграфические шкалы, с помощью которых измеряется геологическое время, могут рассматриваться лишь как шкалы порядка, тогда как «наивное» время (так же, как и физическое) традиционно измеряется в шкалах интервалов.

Непонимание этого обстоятельства большинством теоретиков стратиграфии порождало «стратиграфический парадокс», присутствовавший в той или иной форме в каждой из предлагавшихся теоретико-стратиграфических концепций. Осознание и преодоление этого парадокса позволяет надеяться и на преодоление противоречий, до сих пор раздирающих теоретическую стратиграфию, и построение теории, которая могла бы стать стратиграфической парадигмой.

Литература

Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию. М., «Наука», 1977, 367 стр.

Аронов Р. А., Угаров В. А. Пространство, время и законы сохранения // Природа, 1978, № 10, стр. 99 – 104.

Блаженный Августин Исповедь // Творения блаженного Августина Епископа Иппонийского. Ч. 1. Издание третье, Киев, 1914, стр. 1 – 442 (фототипическое издание изд-ва «Жизнь с Богом», Брюссель, 1974).

Гайденко П. П. Христианство и генезис новоевропейского естествознания // Философско-религиозные истоки науки. М., «Мартис», 1997, стр. 44 – 87.

Гастев Ю. А. О построении анализа на основе аксиоматизированной геометрии прямой II // Проблемы логики. М., изд-во АН СССР, 1963, стр. 137 – 143.

Гильберт Д. Основания геометрии. М. – Л., ОГИЗ, Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1948, 491 стр.

Гоманьков А. В. Основные проблемы расчленения и корреляции континентальных толщ (на примере перми и триаса Ангариды) // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографические реконструкции. М., «ГЕОС», 2001а, стр. 234 – 240.

Гоманьков А. В. Теоретическая стратиграфия в работах С. В. Мейена // Материалы симпозиума, посвящённого памяти С. В. Мейена (1935 – 1987), Москва, 25 – 26 декабря 2000 года. М., «ГЕОС», 2001б, стр. 71 – 76.

Дарвин Ч. Происхождение видов путём естественного отбора или сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь. СПб, «Наука», 1991, 539 стр.

Драгунов В. И. Онтологические аспекты геологии // Проблемы развития советской геологии. Л., «Недра», 1971, стр. 85 – 101 (Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, т. 177).

Жамойда А. И. Сергей Викторович Мейен и теоретическая стратиграфия (к 60-летию со дня рождения) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1995, т. 3, № 4, стр. 83 – 94.

Ивин А. А. Логика времени // Неклассическая логика. М., «Наука», 1970, стр. 124 – 190.

Кант И. Критика чистого разума. СПб, 1867, 627 стр.

Клини С. К. Введение в метаматематику. М., Изд-во иностранной литературы, 1957, 526 стр.

Клини С. К. Математическая логика. М., «Мир», 1973, 480 стр.

Котов В. Н. Применение теории измерений в биологических исследованиях. Киев, «Наукова думка», 1985, 100 с.

Кузнецов Г. А. Трактат о часах // Теория логического вывода. М., «Наука», 1973, стр. 228 – 248.

Кун Т. Структура научных революций. М., «АСТ», «Ермак», 2003, стр. 5 – 311.

Леонов Г. П. Основы стратиграфии. Т. 1. М., изд-во МГУ, 1973, 530 стр.

Майоров Г. Г. Формирование средневековой философии. Латинская патристика. М., «Мысль», 1979, 431 стр.

Манин Ю. И. Теорема Гёделя // Природа, 1975, № 12, стр. 80 – 87.

Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М., «Наука», 1989, 215 стр.

Мейен С. В. Понятие времени и типология объектов (на примере биологии и геологии) // Эволюция материи и её структурные уровни. М., «Наука», 1983, стр. 311 – 317.

Мейен С. В. Таксономия и мерономия // Вопросы методологии в геологических науках. Киев, «Наукова думка», 1977, стр. 25 – 33.

Никитин С. Н., Чернышёв Ф. Н. Международный геологический конгресс и его последние сессии в Берлине и Лондоне // Геологический журнал, 1889, т. I, № 1, стр. 114 – 150.

Общая стратиграфия (терминологический справочник). Хабаровск, 1979, 842 стр.

Оноприенко В. И. Письма С. В. Мейена к К. В. Симакову // Памяти Сергея Викторовича Мейена (к 70-летию со дня рождения). Труды Международной палеоботанической конференции. Москва, 17 – 18 мая 2005. Вып. 3. М., «ГЕОС», 2005, стр. 78 – 102.

Петров М. К. Перед «Книгой природы». Духовные леса и предпосылки научной революции XVII в. // Природа, 1978, № 8, стр. 110 – 119.

Попов А. В. Измерение геологического времени. Принципы стратиграфии и закономерности эволюции. Учебное пособие. СПб, изд-во Санкт-Петербургского университета, 2003, 143 стр.

Пфанцагль И. Теория измерений. М., «Мир», 1976, 248 стр.

Садыков А. М. Идеи рациональной стратиграфии. Алма-Ата, «Наука», 1974, 182 стр.

Салин Ю. С. Нелогическая геология во времена Г. Спенсера и в наши дни // Вопросы методологии в геологических науках. Киев, «Наукова думка», 1977, стр. 121 – 128.

Салин Ю. С. Стратиграфия: порядок и хаос. Владивосток, «Дальнаука», 1994, 221 стр.

Симаков К. В. Об основных принципах теоретической стратиграфии // Изв. АН СССР, сер. геол., 1989, № 10, стр. 17 – 23.

Симаков К. В. К проблеме естественнонаучного определения времени. Магадан, 1994, 108 стр.

Спенсер Г. Нелогическая геология // Собр. соч., т. 3. СПб, 1866, стр. 277 – 335.

Степанов Д. Л., Месежников М. С. Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований) Л., «Недра», 1979, 423 стр.

Стратиграфический кодекс. Издание второе, дополненное. СПб, 1992, 120 стр.

Форш Н. Н. О стратиграфическом расчленении и корреляции разрезов татарского яруса востока Русской платформы по комплексу литолого-стратиграфических, палеомагнитных и палеонтологических данных // Палеомагнитные стратиграфические исследования. Сборник статей. Л., Гостоптехиздат, стр. 175 – 211 (Тр. ВНИГРИ, вып. 204).

Фрагменты ранних греческих философов. Часть I. От эпических теокосмогоний до возникновения атомистики. М., «Наука», 1989, 576 стр.

Чайковский Ю. В. О природе случайности. Монография. М., изд-во Центра Системных Исследований, 2001, 278 стр. (Ценологические исследования, вып. 18).

Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. М., Изд-во иностранной литературы, 1950, 564 с.

Remane J., *Bassett M. G., Cowie J. W., Gohrbandt K. H., Lane H. R., Michelsen O., Wang Naiweng.* Guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standarts by the International Commission on Stratigraphy (ICS) (Revised) // Permophiles, 1996, № 29, p. 25 – 30.

Рисунки

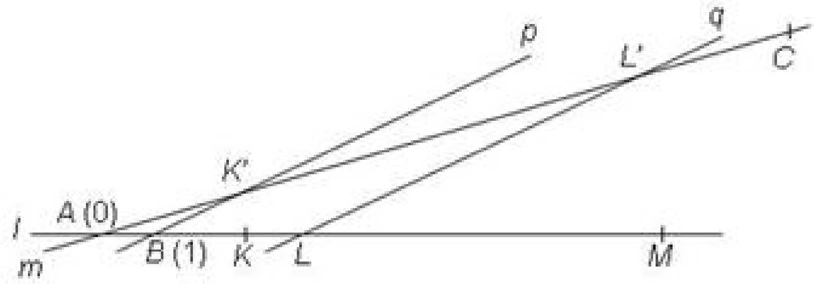


Рис. 1. Произведение (*M*) чисел *K* и *L*

Рис. 2. Вертикально ориентированная слоистость. Обнажение верхнепермских пород на левом берегу р. Купли у бывшей д. Ново-Александровка (Оренбургская обл.)

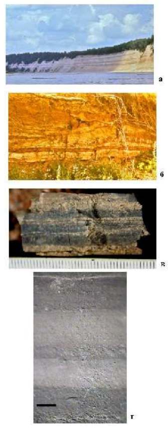


Рис. 3.Разные масштабы слоистости в верхнепермских отложениях Русской платформы

а – левый берег р. Сухоны напротив д. Опоки (Вологодская обл.); б - обнажение на правом берегу р. Вятки у д. Воробьи (Кировская обл.); в – образец аргиллита из обнажения на правом берегу р. Сакмары близ д. Новокульчумово (Оренбургская обл.), цена деления линейки – 1 мм; г – образец аргиллита из обнажения у д. Чепаниха (Удмуртская республика), длина линейки – 1 мм

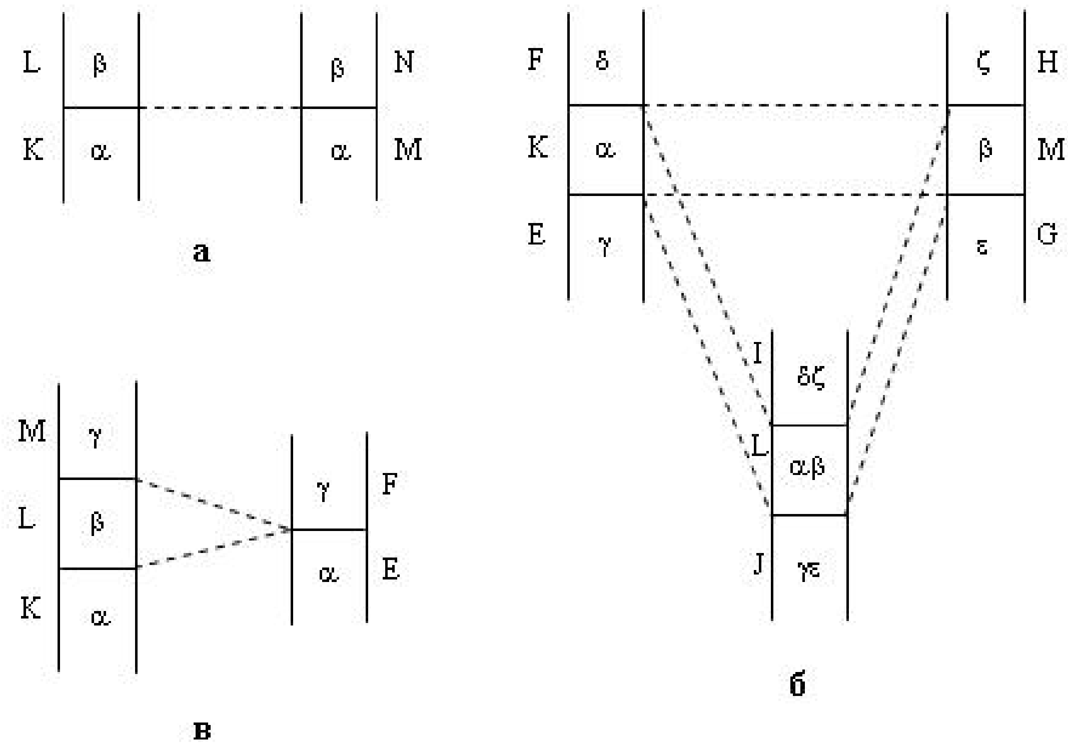
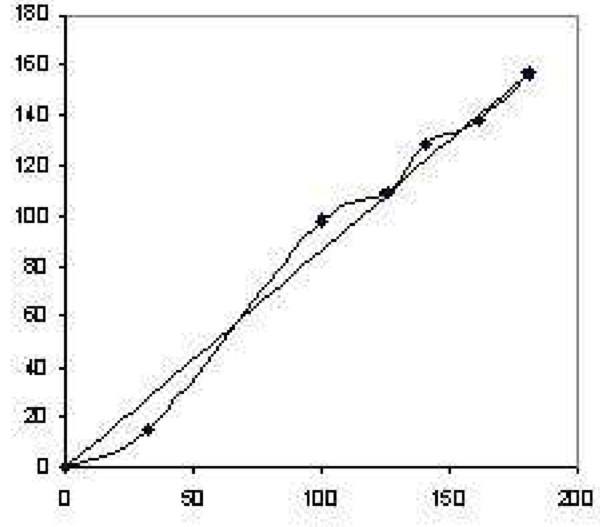
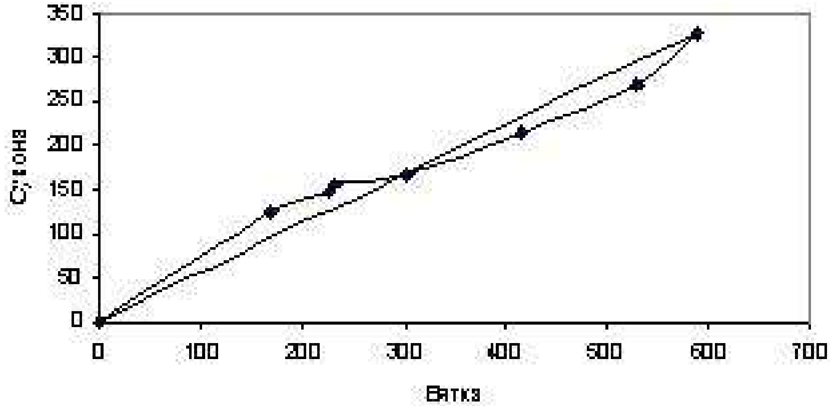


Рис. 4. Сопоставление разрезов: а – на основании принципа Смита-Гексли, б – на основании принципа Мейена, в – на основании принципа Дарвина

E, F, G, H, I, J, K, L, M, N – стратоны; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ – стратиграфические признаки; коррелируемые границы между стратонами соединены пунктирными линиями



а



б

Рис. 5. Сопоставление мощностей одновозрастных стратонов в двух коррелируемых разрезах

Мощности (в метрах), измеренные в одном разрезе, отложены по горизонтальной оси, а в другом – по вертикальной. Маркёрами помечено положение изохронных границ. Если бы между моментами времени, соответствующими точкам каждого из разрезов, выполнялось отношение эквилататности (скорость осадконакопления была бы постоянной), то все маркёры ложились бы на прямую линию, которая для наглядности также проведена на каждом из графиков. Тот факт, что реальные кривые, показывающие соотношение мощностей, сильно отличаются от прямых, свидетельствует о несохранении эквилататности при корреляции разрезов

а – две скважины, вскрывшие отложения татарского яруса в бассейне р. Сухоны; б – сводные разрезы татарского яруса по рекам Сухоне и Вятке

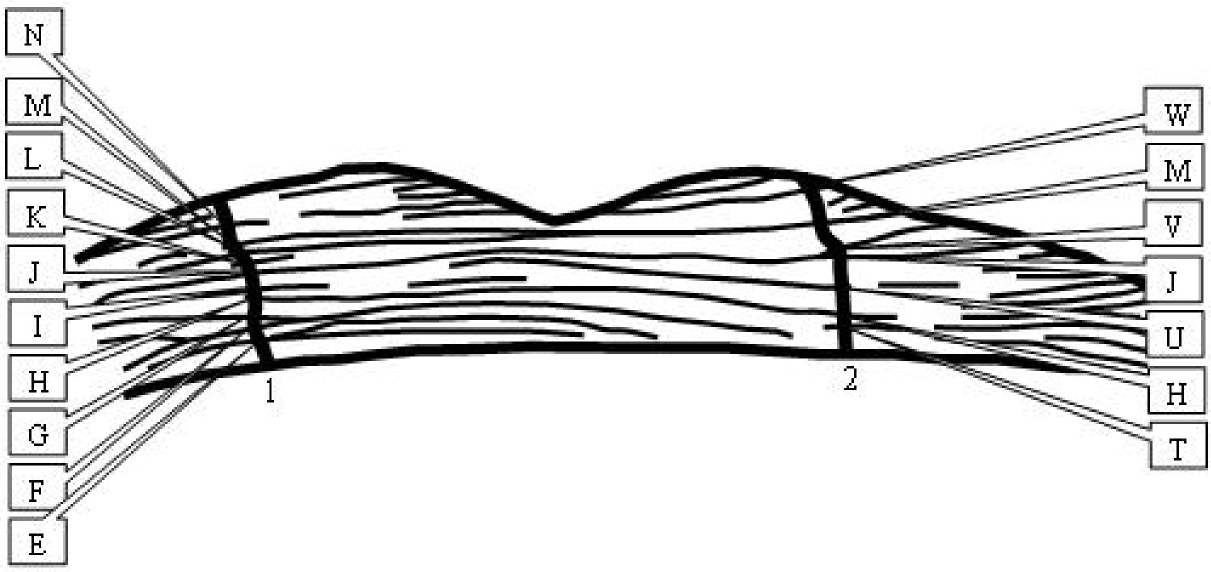


Рис. 6. Типичная наблюдаемая стратиграфическая структура земной коры (по Мейену, 1989 с изменениями)

1, 2 – разрезы; *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *J*, *K*, *L*, *M*, *N*, *T*, *U*, *V*, *W* – границы