

## Стратиграфия как приложение теории измерений

А. В. Гоманьков

Современное состояние стратиграфии (науки о геологическом времени) представляется парадоксальным. С одной стороны, геологи, кажется, могли бы гордиться самым существованием этой отрасли их знания. Они так давно (один из основателей стратиграфии – Николай Стенон был современником И. Ньютона и Р. Декарта) и так основательно поняли важность временного аспекта в своих исследованиях, что создали отдельную научную дисциплину, специально занимающуюся геологическим временем. 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 нет каких-либо надёжно установленных и общепринятых истин, которые можно было бы включить в учебник. Соответственно, нет и учебников. Нет даже хороших обобщающих монографий. Лучше других – книга С. В. Мейена «Введение в теорию стратиграфии», депонированная в ВИНТИ 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, 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.

Нельзя сказать, что эта теоретическая неразработанность стратиграфии не беспокоит самих стратиграфов. сетования по её поводу, впервые появившиеся ещё в XIX в, к концу XX в. становятся уже своеобразной традицией в качестве вступления к теоретико-стратиграфическим работам. Так начинается, например, упомянутая монография Мейена, причём в *самом* начале работы приводится цитата на ту же тему из статьи С. Н. Никитина и

Ф. И. Чернышёва 1889 г.(!). 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.

Не разделяя пессимизма Спенсера - Салина, можно вслед за Мейеном (1989) предположить, что основная причина отсутствия стратиграфической парадигмы лежит в нечёткости многих используемых понятий, в том числе и тех, которые играют роль фундаментальных. Эти понятия считаются обычно самоочевидными, а следовательно, - единообразно употребляемыми и соотносимыми с объективной реальностью. Однако, знакомство со стратиграфической литературой показывает, что очень часто разные исследователи вкладывают разный смысл в одни и те же слова, а существующие разногласия порождены простым взаимным *непониманием*. Эти «языковые нестыковки», очевидно, и заводят в тупик любую дискуссию, превращая её в логомахию – бесконечный и бессмысленный спор, причиной которого является неодинаковое понимание употребляемых спорящими слов.

Перспективным в этих условиях представляется обращение к математике – области знаний, издавна прославленной чёткостью своих понятий. Для описания практической стратиграфической деятельности весьма удобной кажется теория измерений – математическая теория, интенсивно развиваемая, начиная с 50-х годов XX в. (Пфанцгль, 1976; Котов, 1985). Помимо продвижения ко взаимопониманию стратиграфов и тем самым – к построению единой стратиграфической теории такое описание может оказаться полезным и для физиков – представителей наиболее математизированной области естествознания с лучшей всего разработанной теорией. На понятном для физиков языке оно, быть может, выявит различия и сходства, существующие между физическим и геологическим временем, и тем самым заставит их задуматься как о свойствах «времени вообще», так и о специфике того времени, с которым им приходится иметь дело.

\* \* \*

Как всякая уважающая себя наука, стратиграфия основывается на трёх законах, которые, впрочем, чаще называют принципами, подчёркивая их важную методическую роль. Эти принципы стратиграфии можно по-разному

формулировать и тем более по-разному называть. Мы будем называть их по именам их авторов, т. е. тех учёных, которые впервые сформулировали их в более или менее явном виде.

Первый принцип стратиграфии носит имя Стенона. В соответствии с этим принципом всякая область пространства, заполненная осадочной горной породой, является скалярным полем времени: каждой точке этой области может быть сопоставлена некоторая временная характеристика, обычно называемая возрастом и трактуемая как время образования породы в данной точке.

Пространство, о котором идёт речь, при этом 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 «осадочного 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.

Важно иметь в виду, что согласно принципу Стенона геологическое время *спацировано* или «опространствлено» (Драгунов, 1971; Мейен, 1989), т. е. что временные отношения между геологическими объектами явлены нам и познаются через их пространственные отношения, а сами геологические

объекты, рассматриваемые как пространственные тела, являются *материальными референтами времени* (геологического).

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 самом времени, а именно о его градиенте, т. е. модель скалярного поля, более простая, чем векторная модель, оказывается вполне достаточной для описания всех ситуаций, с которыми на практике имеют дело стратиграфы.

На основании изложенных представлений 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 называется слоистостью, и если эта изменчивость рассматривается как дискретная, то единица такой изменчивости называется слоем. Непреходящая и фундаментальная 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.

Существует множество частных критериев для отличия слоёв от фаций. Так в 1950 г. был опубликован русский перевод книги американского геолога Роберта Шрока «Последовательность в свитах слоистых пород». Эта довольно большая по научным меркам книга (больше пятисот страниц) 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 не известным.

Здесь, очевидно, неуместно пересказывать всю книгу Шрока, но об одном критерии, применимом и реально используемом в подавляющем большинстве практических ситуаций, всё же необходимо сказать, поскольку, как мы увидим дальше, он накладывает существенный отпечаток на все геологические представления о времени и в значительной степени обуславливает специфику геологического времени по сравнению, например, с физическим. Критерий этот заключается в том, что слои, как правило, имеют гораздо более резкие границы, чем фации (при анализе распределения в осадочном пространстве какого-либо параметра оказывается, что модуль его производной на границе двух слоёв имеет ярко выраженный максимум). Именно поэтому 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. Именно поэтому процедура выделения временной составляющей в осадочном пространстве носит название *расчленения*.

Утверждать, однако, что геологическое время в целом *дискретно*, - значит очень сильно упрощать ситуацию. 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.

Отсутствие общего решения у задачи расчленения, очевидно, означает невозможность дать геологическому времени операциональное определение,

т. е. выразить его через какие-то другие ясные понятия, легко соотносимые с эмпирической реальностью. Вслед за И. Кантом мы должны признать, что время (по крайней мере, в геологии) является принципиально неопределяемым понятием, которое должно присутствовать во всех наших теоретических конструкциях в качестве наиболее фундаментального и выражающего некую самую первичную интуицию нашего сознания.

Результатом решения задачи расчленения является конкретный разрез, т. е. выделенная и описанная последовательность слоёв, элементы которой рассматриваются как упорядоченные во времени.

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. Согласно второму принципу или принципу Смита – Гексли две границы между слоями, установленные в двух разных разрезах, должны считаться синхронными друг другу, если на них происходит одинаковое изменение какого-либо признака. Третий принцип или принцип Мейена позволяет перейти от сопоставления двух к сопоставлению трёх и большего числа разрезов. Он гласит, что отношение синхронности слоёв обладает свойством транзитивности, независимым от тех признаков, по которым эта синхронность была установлена. Если, например, на основании признака X было установлено, что слой А синхронен слою В, а на основании признака Y - что слой В синхронен слою С, то слои А и С так же синхронны друг другу даже в том случае, если никаких общих признаков между ними не наблюдается.

Легко видеть, что отношение синхронности между слоями обладает всеми свойствами отношения эквивалентности. Поэтому результатом операции сопоставления разрезов оказывается так называемый сводный разрез – временная последовательность, элементами которой являются классы эквивалентности слоёв по отношению синхронности. Элементы сводного разреза называются стратонами, и каждому из них обычно присваивается собственное имя. Сводные разрезы можно так же сопоставлять друг с другом, образуя, так сказать, сводные разрезы высшего

порядка. В этом смысле свойства «конкретности» и «сводности» разрезов являются относительными, и стратиграфии можно бросить упрёк в неразработанности терминологии. Совершенно разные понятия - вполне материальное тело (пачка слоёв) и абстракция (последовательность классов эквивалентности) называются одним и тем же словосочетанием «конкретный разрез», когда они играют одинаковую роль в операции сопоставления. На элементы разрезов, впрочем, эта терминологическая некорректность не распространяется: элементы конкретного разреза, который ранее был получен в результате операции сопоставления, а не расчленения, называются не слоями, а стратомерами. Кроме того, можно заметить, что так же, как пачки слоёв образуют «абсолютно конкретные» разрезы, существует и «абсолютно сводный» разрез, «ассимилирующий» все другие разрезы, с ним сопоставляемые, вместо того, чтобы образовывать с ними новые сводные разрезы более высокого порядка.

Сводные разрезы по-другому называются ещё стратиграфическими шкалами («абсолютно сводный» разрез называется международной стратиграфической шкалой), и, пожалуй, самое важное положение, которое мне хотелось бы здесь обосновать, заключается в том, что стратиграфические шкалы являются также шкалами в том смысле, который придаётся этому слову в теории измерений.

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 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.

Легко видеть, что процедура построения сводного разреза в результате сопоставления конкретных разрезов есть не что иное, как приведение системы, элементами которой являются стратомеры (или слои), связанные отношениями «раньше-позже» (синхронные стратомеры при этом, очевидно, выступают как конгруэнтные). Стратоны итогового сводного разреза строго упорядочены во времени, и, следовательно, этот разрез уже не имеет элементов, изохронных друг другу (конгруэнтных), и может рассматриваться как неприводимая эмпирическая система. Если теперь занумеровать стратоны этого разреза в порядке их следования во времени, то мы получим шкалу, где временным отношениям «раньше-позже» будут соответствовать числовые отношения «больше-меньше». В стратиграфии, впрочем, не принято использовать числа в качестве собственных имён стратонов, для этой цели гораздо чаще 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 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 в дальнейшем 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 в разрезе существовал стратон с номером (2, 3), а затем в результате детализации разреза он был расчленён на три части, то три вновь образованных стратона получают номера (2, 7/3), (7/3, 8/3) и (8/3, 3). Соответствие между отношениями «раньше-позже» и «больше-меньше» при этом, очевидно, во всех случаях сохранится.

Построенная таким образом шкала наглядно демонстрирует, что геологическое время изоморфно множеству рациональных чисел. Это утверждение является более точным описанием того свойства геологического времени, которое можно было бы назвать дискретностью и которое, вероятно, наиболее существенным образом отличает его от времени физического. Со времён Ньютона физики (большой частью имплицитно) предполагали, что время изоморфно направленной прямой или, что то же самое, - множеству действительных чисел. Это обстоятельство, собственно, и позволяло им записывать динамические законы физики (т. е. законы, в которых участвует время) в виде дифференциальных уравнений. Лишь с возникновением квантовой механики в XX в. появилась гипотеза о том, что указанного («ньютоновского») изоморфизма не существует. Обычно эта гипотеза формулируется в виде утверждения, что время «не непрерывно, а дискретно». Однако, деление всех множеств на непрерывные и дискретные кажется топологически безграмотным. Вся топология учит тому, что «дискретности», равно как и «непрерывности» могут быть разными. Каким, например, - непрерывным или дискретным является упомянутое выше множество рациональных чисел (счётное и всюду плотное)? Поэтому обозначенную проблему правильнее было бы назвать *проблемой топологии времени*.

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  $m$  некоей неприводимой системы  $(A, S)$  в множество действительных чисел:

$$m : (A, S) \rightarrow (R, P)$$

(здесь  $A$  – произвольное множество,  $R$  – множество действительных чисел, а  $S$  и  $P$  – некие множества отношений соответственно на  $A$  и на  $R$ ). Тогда по

определению  $m$  – это шкала. Пусть есть также некая числовая функция  $f$ , определённая, по крайней мере, на области прибытия отображения  $m$ :

$$f : m(A) \rightarrow R.$$

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

$$f \circ m : (A, S) \rightarrow (R, P).$$

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.

б) 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.

Стратиграфические шкалы согласно этой классификации являются, очевидно, шкалами порядка, тогда как в физике время измеряется, как правило, в шкалах интервалов (конечно, если речь не идёт о Большом Взрыве; в этом случае время измеряется в шкалах отношений). Таким образом на языке теории измерений может быть описана разница между геологическим и физическим временем, которая выше связывалась с проблемой временной топологии.

То, что вещественная прямая является моделью времени, которая в каких-то отношениях (и в первую очередь – в топологическом) может оказаться неадекватной, подтверждается, если задуматься над вопросом, откуда мы вообще *знаем* о существовании времени. Со времён Блаженного Августина (1914) ответ на этот вопрос связывается с таким феноменом нашего сознания как память. Однако топологическая структура человеческой памяти совсем не так проста, как структура прямой. В моей памяти хранятся отдельные образы, упорядоченные (да и то, наверное, не всегда и не строго) по отношению «раньше-позже», и в этом смысле её структура ближе к «дискретной». Но вместе с тем в ней есть и явно «непрерывные» участки. Простейшим примером такого участка может служить какая-нибудь мелодия, не содержащая пауз. Когда я услышал эту мелодию в первый раз, я воспринимал её как некий непрерывный процесс, и в таком виде она была занесена в мою память, хранится в ней и может быть по желанию оттуда извлечена и снова воспроизведена (например, пропета). Если выразиться на языке «дискретности – непрерывности» (забыв на время о его топологической некорректности, о которой говорилось выше), то, вероятно, наилучшее соответствие со структурой памяти обнаруживает «непрерывно-прерывистая» структура, приписываемая времени в рамках «реляционно-генетической» концепции К. В. Симакова (1994).

Наличие «неньютоновских» топологических структур у геологического времени с одной стороны и у человеческой памяти – с другой со всей возможной остротой ставит вопросы о топологии физического времени и о

возможных методах её изучения. Решение этих вопросов лежит, однако, далеко за пределами компетенции автора.

## Литература

- Блаженный Августин* Исповедь // Творения, ч. 1. Киев, 1914, с. 1 – 442.
- Драгунов В. И.* Онтологические аспекты геологии // Проблемы развития советской геологии. Л., «Недра», 1971, с. 85 – 101 (Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, т. 177).
- Котов В. Н.* Применение теории измерений в биологических исследованиях. Киев, «Наукова думка», 1985, 100 с.
- Мейен С. В.* Введение в теорию стратиграфии. М., «Наука», 1989, 215 с.
- Никитин С. Н., Чернышев Ф. Н.* Международный геологический конгресс и его последние сессии в Берлине и Лондоне // Геологический журнал, 1889, т. I, № 1, с. 114 – 150.
- Пфанцгль И.* Теория измерений (перев. с англ.). М., «Мир», 1976, 248 с.
- Салин Ю. С.* Нелогическая геология во времена Г. Спенсера и в наши дни // Вопросы методологии в геологических науках. Киев, «Наукова думка», 1977, с. 121 – 128.
- Симаков К. В.* К проблеме естественнонаучного определения времени. Магадан, 1994, 108 с.
- Спенсер Г.* Нелогическая геология // Собр. соч., т. 3. СПб, 1866, с. 277 – 335.
- Шрок Р.* Последовательность в свитах слоистых пород (перев. с англ.). М., Изд-во иностранной литературы, 1950, 564 с.