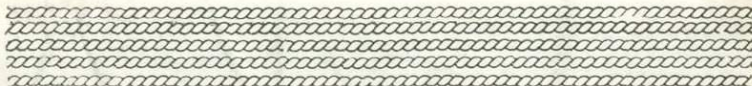


АКАДЕМИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
НАУК НАУЧНЫЙ
СССР ЦЕНТР

**МЕТОДОЛОГИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ТЕКТОНИКИ И ГЕОФИЗИКИ

МЕТОДОЛОГИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2146

Владивосток
1976



АННОТАЦИЯ

Сборник составлен по материалам Всесоюзного семинара по методологии геологических исследований (Хабаровск, ноябрь 1974 г.). В первом разделе, посвященном математизации геологии, проводится мысль о необходимости формально-логического упорядочения как основы применения математических методов и ЭВМ, излагаются некоторые конкретные варианты формализованных построений. Во втором разделе с позиций системного анализа рассматриваются вопросы геологического картирования, интерпретации геофизических данных, методики поисков и разведки и др. Наименее изученная в методологическом отношении проблема ретроспективных реконструкций обсуждается в третьем разделе.

Печатается при содействии Забайкальского филиала Географического общества СССР.

Издано по решению Редакционно-издательского совета
Дальневосточного научного центра АН СССР

Редакционная коллегия:

Ю. И. Бакулин, В. К. Живетьев, Е. А. Кулиш, В. А. Кулындышев,
Ю. С. Салин, В. А. Соловьев, Р. Ф. Черкасов,
академик Ю. А. Косыгин (отв. редактор)

М $\frac{.20802-97}{055(02)16-76}$ Без объявления

© ДВНЦ АН СССР, 1976

ВВЕДЕНИЕ

Методологические исследования долгое время не были популярными в геологической науке. Однако неудачные попытки применения ЭВМ для обработки резко возросших потоков геологической информации заставили задуматься над причинами этих неудач. Оказалось, что вычислительная техника не в состоянии оперировать неоднозначными данными, расплывчатыми понятиями, не может решать плохо поставленные задачи. Пришлось поставить специальные исследования для разработки рекомендаций, как устранить несовместимость геологии и ЭВМ. Исследования быстро переросли первоначальные рамки и вылились в широкий методологический анализ всей геологии, ее строения, отношений ее частей друг с другом, соответствия требованиям логики, гносеологии, прагматики.

С целью выявить существующие направления в методологических исследованиях, обсудить полученные результаты, в Хабаровске был организован Всесоюзный семинар по методологическим проблемам геологии (ноябрь 1974 г.). Многие статьи в предлагаемом сборнике представляют собой тексты докладов, зачитанных на семинаре. При компоновке и редактировании книги мы исходили не из нашего согласия или несогласия с авторами статей по конкретным методологическим вопросам. Важнее было отразить содержание и уровень исследований на данный момент.

В сборнике три раздела. В первом изложены различные рекомендации, как применять в геологии уже существующие математические методы, как конструировать новые, как вообще можно сделать геологию наукой математически строгой. И. П. Шарاپов выделяет три направления в математизации геологии, среди которых только одно, требующее принципиальной перестройки самой геологии, имеет, по его мнению, большие перспективы.

И. Н. Нюберг, проводя параллели между развитием геологии и физики, видит выход в правильной схематизации гео-

логических явлений, построении предельно упрощенных моделей, в которых отражены лишь характеристики, существенные для решения данной задачи.

Необходима формализация — к такому выводу приходит И. В. Назаров, а Ф. А. Усманов предлагает и свой вариант формализованной системы понятий и высказываний, базирующийся на некоторых фундаментальных посылах. В. Немец и Р. Квет, установившие периодический закон пространственного распределения разрывных нарушений, предлагают строить математические методы в геологии на основе учета этого закона, так как разрывные нарушения контролируют многие характеристики геологического строения и развития.

Общей чертой статей второго раздела являются призывы к применению методов системно-структурного анализа, построению геологии как системы, хотя само понимание системы у авторов статей различно.

По Л. И. Четверикову, предложившему весьма конструктивную идею системно-структурного анализа строения тел полезных ископаемых, система представляет собой совокупность элементов, связанных между собой отношениями, И. П. Шарапов считает такое понимание недостаточным, не отражающим главное свойство системы — ее эмерджентность, устойчивость, закономерность.

Попытке представить как систему дизъюнктив, геологическую карту, выделить объекты исследования с учетом иерархии систем посвящены статьи В. Ю. Забродина, В. А. Кулындышева, В. А. Соловьева, В. В. Давиденко, А. А. Хлобутова и др.

Реконструкции прошлого занимают огромное место в геологических исследованиях, однако методологический анализ процедур реконструкции привлекал до сих пор недостаточное внимание. К тому же пионеры постановки методологических проблем в геологии часто подходили к оценке исторической геологии негативно. В некоторой степени восполняет этот пробел третий раздел настоящего сборника.

Восстанавливает логику процедуры ретросказания, выясняет обоснованность высказываний о прошлом В. И. Оноприенко, анализирует методы решения различных типов задач реконструкции (преимущественно в области тектоники) В. И. Громин. Способы реконструкции физического времени — тема статьи Ю. А. Косыгина с соавторами. Дело в том, что при восстановлении процесса геологического прошлого мы сначала наблюдаем ход современных процессов в физическом

времени, а затем полученные результаты распространяем на прошлое, располагая восстановленные события в последовательности геологического времени и связывая их отношения геологической одновременности. Правомерна ли такая постановка — вопрос до сего времени совершенно не изученный. Ю. С. Салин и В. И. Синюков анализируют вопрос о необходимости использования исторических посылок при построении стратиграфии.

Мы надеемся, что наш сборник поможет получить представление о состоянии методологических исследований в советской геологии.



ЕСТЕСТВЕННАЯ ИЕРАРХИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

**Р. А. Гордеев, В. Ю. Забродин, В. А. Кулындышев,
В. А. Соловьев**

Наука может нормально функционировать, если (наряду с другими условиями) она имеет четкое представление об объекте своего исследования. Во многих случаях это требование приводит к попытке создания иерархии объектов, если их несколько. В работах В. И. Попова (1955, 1959), В. И. Драгунова (1965, 1968, 1971), И. В. Крутя (1971, 1973), Ю. А. Косыгина и др. (1972), О. А. Вотаха (1973), А. М. Садыкова (1974), Ю. Г. Герасимова (1975) и др. даются схемы иерархии геологических объектов. Они полностью одинаковы в выделении следующих уровней: химические элементы, минералы, породы, ..., геосферы, планеты. «Различие появляется на интервале от горной породы до геосферы и заключается не только в количестве выделяемых здесь уровней, но и в понимании того, что считать уровнем» (Хохлова, Четвериков, 1974, с. 144). Например, Ю. А. Косыгин с соавторами (1972) на этом интервале выделяют 3 уровня — «геологические формации», «формационные ряды», «формационные комплексы», а В. И. Драгунов (1968, 1973), В. И. Драгунов и др. (1974) только 2 — «формации (парагенерации)», «парагенезисы формаций». При этом понятие «геологическая формация» не тождественно понятию «формация (парагенерация)», а «парагенезисы формаций» отличаются как от «формационных рядов», так и от «формационных комплексов».

Во всех предложенных иерархических рядах чувствовались пропуски (между минералом и породой, породой и формацией); особенно заметен разрыв между формационными комплексами и геосферами. В то же время достаточно хорошо известно, что минералы слагаются не непосредственно химическими элементами, а периодически повторяющимися элементарными ячейками, которые образуют кристаллическую

решётку минерала. Сходная мысль высказывалась Ю. А. Косыгиным в отношении пород (Косыгин, 1971, 1974).

Анализ существующего положения натолкнул авторов на мысль, что между всеми иерархическими уровнями существуют переходные мостики, какие-то образования, играющие роль «кирпичиков», из которых слагаются объекты соответствующего уровня организации — от элементарных частиц до Вселенной как целого (по терминологии А. Л. Зельманова, 1960). Для этих «кирпичиков» мы предлагаем заимствовать существующий в кристаллографии термин «элементарная ячейка». Определить его можно следующим образом: элементарная ячейка — закономерное (устойчивое) сочетание одноуровневых объектов, выступающее как единый компонент структуры объекта следующего иерархического уровня, рассматриваемого в качестве системы, и не существующее самостоятельно*. Следовательно, объект какого-либо уровня организации вещества — это целостная система, способная существовать самостоятельно, состоящая из элементарных ячеек, находящихся в строго определенных отношениях друг с другом.

Элементарные ячейки, образующие объект некоторого уровня организации, могут находиться как в плотной упаковке, так и располагаться дискретно. В первом случае из элементарных ячеек слагаются **тела** (например, геологические), как специфическая форма представления природных систем; во втором случае мы имеем природные **системы в собственном смысле слова** (атом, планетная система). В телах можно изучать и форму, и структуру, в собственно системах — только структуру (вопросы, связанные с изучением вещественного состава нами не рассматриваются). Специфической особенностью тел является периодическая повторяемость (ритмичность) элементарных ячеек, в то время как у собственно систем фиксируется только периодичность видов структур (периодическая система Д. И. Менделеева).

Существование элементарных ячеек как элементов объекта любого уровня организации позволяет построить единую непротиворечивую естественную иерархию природных систем

* Близко к такому пониманию элементарной ячейки иерархического уровня подошел И. В. Круть (1973), который разрыв между уровнями объяснил существованием **кванта организации**, т. е. некоторой совокупности системообразующих факторов, позволяющей перейти от одного уровня к другому.

(см. рисунок на вклейке). Отметим, что в приведенном ряду четко обособляются объекты тектоники — породы, формации, формационные комплексы, геосферы (тектоника изучает их формы и структуры). Уровень пород является тем, на котором работает традиционная структурная геология. Наук о других объектах практически не существует, за исключением тектоники формационных комплексов, по которой появились публикации в последнее время (Соловьев, 1975). Из приведенного рисунка также видно, что не для всех иерархических уровней природных систем мы обладаем знанием структур и форм объектов. Итак, пока нельзя сказать ничего определенного о структурах пород и формаций, а также объектов ранга выше солнечной системы. Еще хуже обстоит дело с формами тел, которые очень слабо изучены на уровне пород и совершенно не изучены на уровнях формаций и формационных комплексов.

В заключение мы можем предложить следующую формулировку максимально общего закона структурирования природных систем, или **закона сохранения структуры**:

Структура объектов любого уровня естественной иерархической системы определяется не объектами предшествующего уровня, а элементарными ячейками.

ЛИТЕРАТУРА

Вотах О. А. Принцип тектонического районирования по возрасту главной складчатости, глобальная тектоника и основа общей теории строения Земли. — «Геология и геофизика», № 9, 1973.

Герасимов Ю. Г. Структурные уровни вещества Земли и их отражения в классификации геологических наук. — В кн.: Методологические проблемы геологии. Киев, «Наукова думка», 1975, с. 30—37.

Драгунов В. И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества. — В кн.: Матер. к совещ. «Общие закономерности геологических явлений», вып. 1, Л., 1965.

Драгунов В. И. Основные понятия учения о геологических функциях. — В кн.: Геологические формации. Л., 1968.

Драгунов В. И. Концепция уровней организации и симметрия системы понятий наук о Земле. — В кн.: Симметрия в природе. Л., 1971.

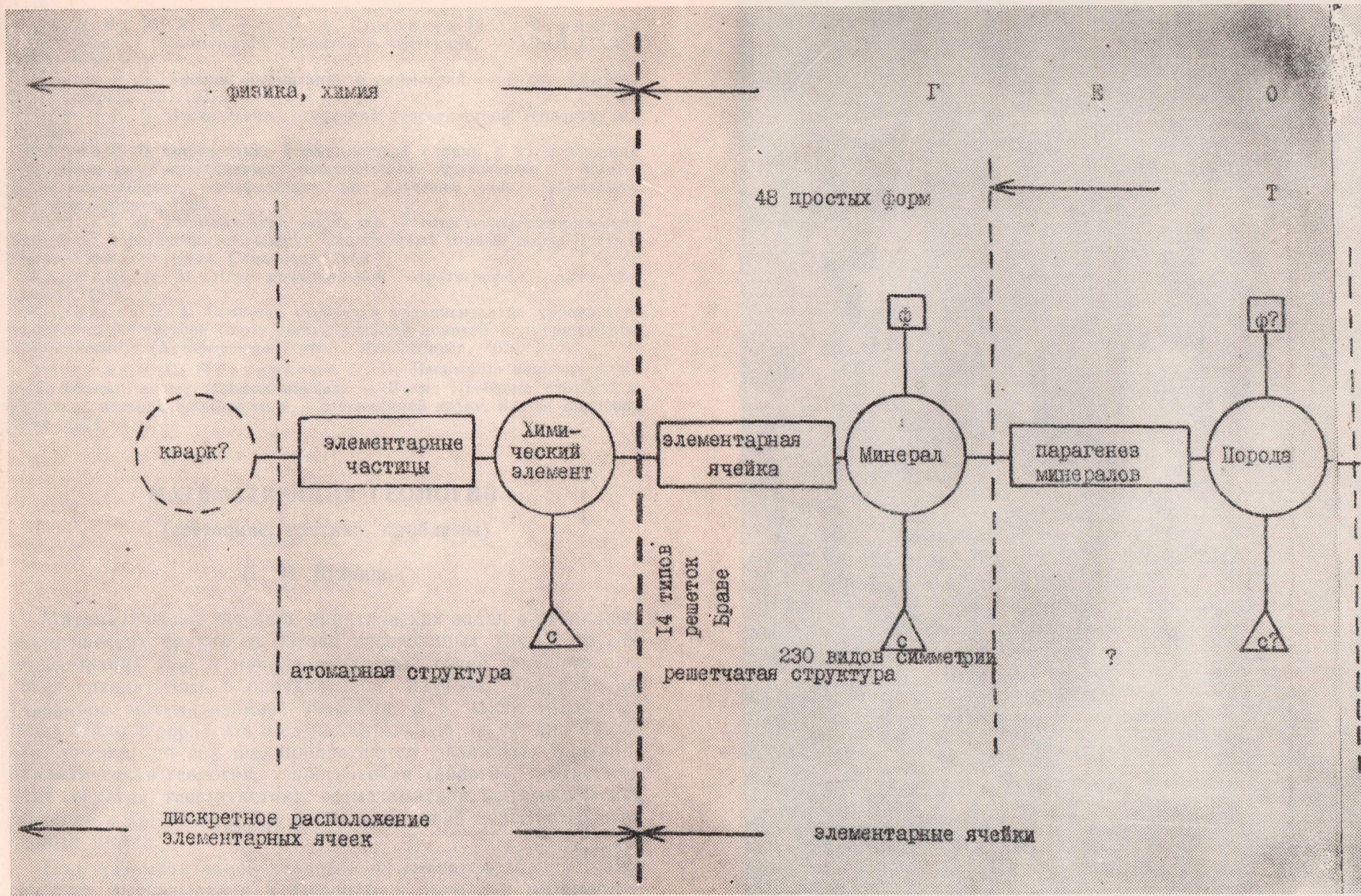
Драгунов В. И. Геологические формации. Л., «Недра», 1973.

Драгунов В. И., Айнемер А. И., Васильев В. И. Основы анализа осадочных формаций. Л., «Недра», 1974.

Зельманов А. Л. К постановке космологической проблемы. — «Труды II съезда ВАГО». М., 1960.

Косыгин Ю. А. Планетарные аспекты геологии. — В кн.: Проблемы теоретической и региональной тектоники. М., «Наука», 1971.

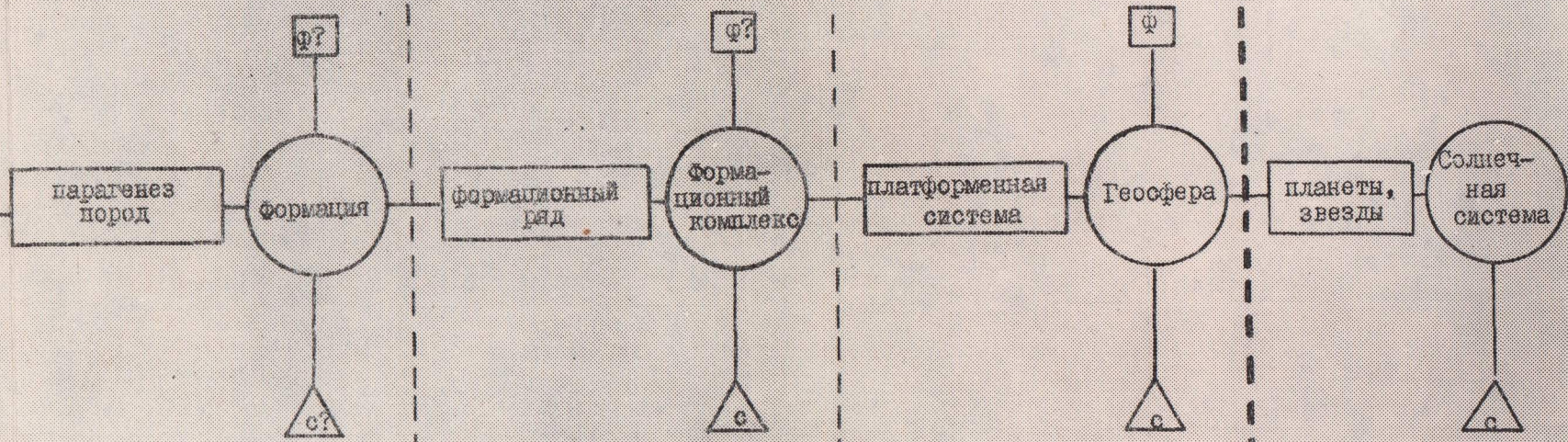
Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М., «Недра», 1974.



4. Исчисление различных комбинаций кристаллических структур основано на элементарной интерпретации этих связей (комбинаторика) — кристаллическая примитивная решетка

Л О Г И К А
 Е К Т О Н И К А

астрономия
 астрофизика



слоисто-линзовидная структура

слоистая структура

квазиатомарная структура

плотнейшей упаковки

дискретное
 расположение
 элементарных
 ячеек

Косыгин Ю. А., Вотах О. А., Соловьев В. А., Черкасов Р. Ф. Иерархия геологических объектов и тектоника. — «ДАН СССР», т. 207, № 2, 1972.

Круть И. В. Уровни организации и симметрия. — В кн.: Симметрия в природе. Л., 1971.

Круть И. В. Исследование оснований теоретической геологии. М., «Наука», 1973.

Попов В. И. Определение формационных единиц и их положения в основном ряду вещественных геологических образований. — «Материалы Новосибирской конференции по изучению геол. формаций». Т. 1, Новосибирск, 1955.

Попов В. И. Геологические формации — естественно-исторические сообщества генетически связанных сопряженных горных пород. Часть I. Изд-во Узбек. гос. ун-та, Самарканд, 1959.

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

Соловьев В. А. Слоистая структура континентов на уровне тектонических комплексов (опыт систематизации понятий и упорядочения терминологии). (Автореф. докт. дис.). Новосибирск, 1975.

Хохлова Э. С., Четвериков Л. И. Некоторые вопросы выделения объекта в естественных науках. — В кн.: Проблема субъекта и объекта в истории философии и в современной науке. Изд-во Воронеж. ун-та, 1974.

МАТЕМАТИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИИ

(состояние, критика, проблемы)

И. П. Шарапов

Математическое решение практических задач в различных геологических науках из потока несвязанных друг с другом исследований еще в начале двадцатых годов текущего столетия превратилось в определенное научное направление, названное математизацией геологии, а в конце тридцатых годов стало перерастать в самостоятельную науку, для названия которой до сих пор предлагаются различные термины: **аналитическая геология, теоретическая геология, статистическая геология, геостатистика, геоматематика, математическая геология** и др. За каждым из этих названий скрывается свой особый смысл.

Под математизацией геологии понимается запись геологических высказываний в терминах и символах математики и вычисление различных показателей, предназначенных служить основаниями для содержательной интерпретации этих записей (описательных — констатация признаков исследуе-

мого геологом объекта, объяснительных, оценочных и прогностических). Изредка встречаются и некоторые другие высказывания (номологические, ретрогностические, методологические). Из этого видно, что математизация геологии проявляется в новом способе решения геологических задач. Постановка и решение этих задач, а также интерпретация решений пока еще не имеют методологического обоснования, если не считать тех редких работ, в которых используются идеализация, анализ, моделирование, аксиоматизация (Геология и математика, 1967) и некоторые другие, но далеко не все, предлагаемые методологией, операции. Вследствие этого математическое решение геологических вопросов не образует логической целостности исследовательского процесса. Задача состоит в том, чтобы на базе нынешней математизации геологии сформировать математическую геологию как систему идей в интересующей нас области.

Термин «аналитическая геология» говорит об анализе в геологии, но что это за анализ — математический, химический, логический или еще какой — неизвестно. Данный термин, следовательно, недостаточно определенный.

Под теоретической геологией понимаются тоже разные вещи. Некоторые говорят, что есть теоретическая и практическая геология. Одна разрабатывает теории, другая решает практические задачи. Мы не согласны с таким делением. Есть лишь одна геология. Вопросы теории и практики в ней взаимосвязаны или должны быть взаимосвязаны.

Под теоретической геологией чаще всего понимают философский анализ геологических проблем (Круть, 1973), но странная получается вещь: у нас нет геологических теорий, а есть теоретическая геология. Те же построения, которые считают геологическими теориями, при логически строгом подходе к ним следует считать лишь гипотезами. Таким образом, под теоретической геологией понимают не то, что есть, а то, что хотят иметь — систему будущих геологических теорий.

Больше прав на существование имеет термин «статистическая геология». Он легко «вписывается» в систему существующих терминов: «статистическая физика», «статистическая астрономия» и других. Статистическое исследование любого фактического материала основывается на приемах математической статистики и теории вероятностей. С применением именно этой теории началась математизация геологии (Пса-

рев, 1899). Основная масса литературы по этой математизации образует как раз статистическую геологию.

Геостатистика и геоматематика — не геологические, а математические науки (если вообще это науки). Они используют геологические факты для создания некоторых математических конструкций.

Термин «математическая геология» означает использование в геологии методов не одной только теории вероятностей, но и многих других математических наук — геометрии, алгебры, теории множеств, топологии и т. д. (Шарапов, 1971). С помощью геометрии созданы «геометрия недр», «морфометрия рельефа», «морфометрия валунов» и другие направления в математической геологии. С помощью алгебры создается линейное и нелинейное программирование процесса управления изменениями рельефа, а также процесса управления геологическими разведками. С помощью теории множеств создается методология геологических классификаций, а также закладываются основы использования ЭВМ в геологической диагностике. С помощью топологии разрабатывают приемы формационного анализа и т. д. Главным же в математической геологии является применение методов математической статистики и теории вероятностей. Это означает, что математическая геология на 70—80% (по числу работ) является статистической геологией.

Имея в виду не только нынешнее состояние работ по математизации геологии, но и перспективу развития в ближайшее десятилетие, мы можем предложить следующее определение. **Математическая геология** — наука о структуре геологических тел, процессов и методов, исследуемой путем математического моделирования. Под структурой здесь понимается закон композиции (Урманцев, 1972), или системообразующее отношение компонентов, т. е. составных частей, образующих геологические тела, процессы и методы. Под геологическим же телом мы понимаем любой участок земной коры, любой пласт, кристалл, образец горной породы и т. п. с интересующими нас свойствами. Процесс в этом определении понимается как цепь явлений, т. е. как ход изменения состава, строения и отношения геологического тела к другим телам, а метод — это последовательность операций выявления свойств и отношений с целью создания, проверки и фиксации научного знания.

Математическое моделирование — это главным образом

стохастическое моделирование, но в ряде случаев оно может быть и нестохастическим.

Предмет математической геологии может исследоваться не только в процессе его изменения, но и в фиксированный момент времени, т. е. инвариантно к ходу времени. А. Б. Вистелиус последнее не признает (по его определению, математическая геология исследует только процессы, а не тела).

Из нашего определения видно, что математическая геология исследует тот же самый предмет, что и вся геология, но не столь широко, как последняя. Математическая исследует земную кору лишь со стороны отношений (главным образом количественных), оставляя за другими геологическими науками исследование других (субстантивных) сторон названного предмета.

Мы подчеркиваем, что в нашем определении земная кора отражена как система и как система систем любого уровня, поскольку в нем, т. е. в определении, отражено все, что нужно для конструирования системы — и состав, и структура интересующего нас предмета, и, правда в неявном виде, его эмерджентные (интегративные) свойства (Шарапов, 1972а).

В истории математической геологии можно выделить три периода: 1) эмпирический или собирательный (в истории всего семейства геолого-минералогических наук такой период называют классическим, или героическим), 2) аналитический и 3) синтетический. Первый период начался в 1899 г. и продолжался 40 лет, второй занял 24 года (1939—1963 гг.), а третий идет уже 11 лет и продолжается в наши дни (Шарапов, 1973а).

Современное состояние работ по математизации геологии можно определить как недостаточно организованное (Шарапов, 1972б). Очень большое число официальных ячеек (лабораторий, групп, центров, партий) при учебных, научных и производственных учреждениях в различных странах принимается с помощью математики решать многие научные и практические задачи геологии без осознанной методологии, часто дублируя друг друга и не создавая критериев оценки правильности решения. Почти все эти ячейки работают не на геологию, а на самих себя, занимаются самообслуживанием и самообучением, надеясь, что недостаток знания логики можно компенсировать каким-либо хитрым математическим приемом или массовой атакой. Лишь некоторые ячейки умеют методологически правильно поставить и решить задачу исследования (Геология и математика, 1967). Они-то и опре-

деляют прогресс математизации геологии.

Несмотря на отмеченную выше неорганизованность, в математизации геологии можно рассмотреть три более или менее сформировавшихся направления. Эти направления отвечают охарактеризованным выше этапам исторического развития математизации геологии.

Первое — это математическое обслуживание геологии без какой-либо осознанной концепции, т. е. создание вычислительных процедур для обработки эмпирического материала геологии на базе ее традиционных понятий и теорий. По этому направлению опубликовано около 90% всех математико-геологических работ (Аренс, ранний Вистелиус, Криге, Мерриам, Шехтман, Шурыгин, Матерон и др.). Сюда же, по-видимому, следует отнести и работы по морфометрии обломков горной породы, морфометрии рельефа, горной геометрии и некоторые работы по АСУ—Геология.

Второе — математическое моделирование геологических процессов на базе пробабилистской концепции без пересмотра понятийной базы и основных теоретических представлений классической геологии. Этому направлению принадлежит около 9% всех работ по математизации геологии (Крумбейн, Вистелиус, Чейз, Агтегберг, Родионов и др.).

Третье направление — глубокая математизация геологии на базе структурной (системной) концепции с методологической ревизией совокупности понятий, суждений и умозаключений, сложившихся к настоящему времени в науках о Земле.

Системный анализ в применении к учению о поисках месторождений полезных ископаемых может дать много интересного. Его ценность, а вместе с тем и суть в том, что он, подобно таблице Менделеева, закономерно ведет к таким открытиям, которые без него могут быть сделаны лишь случайно. Мы имеем в виду эмерджентные (или, по В. Г. Афанасьеву, интегративные) свойства предмета исследования, рассматриваемого в виде системы. Это свойства целого, не выводимые из свойств частей, т. е. не присущие ни одной, отдельно взятой части. Так, эмерджентным свойством мы считаем магнитность сплава некоторых немагнитных элементов (например, марганца и германия). Сколько бы мы ни исследовали каждый из этих элементов в отдельности, магнитность их сплава мы прогнозировать не в состоянии, так как она появляется лишь в сплаве.

Ю. А. Косыгин, В. А. Соловьев, П. Ф. Иванкин и другие, предлагающие геологам заняться системным анализом, фак-

тически, как это ни парадоксально, не признают его, поскольку не говорят, что его суть — в выявлении эмерджентных свойств. Всякие другие свойства (аддитивные, конститутивные и т. д.) могут быть открыты без системного анализа, а эмерджентные, самые интересные, свойства — только с его помощью. Для их выявления он и создан.

Сплав математики и методологии, оформившийся в виде новой науки — общей теории систем, имеет эмерджентное свойство открывать нечто принципиально новое, не открываемое ни математикой, ни методологией в отдельности. Есть теория этого свойства — теория изомерии (точнее, изомерии и полиморфизма). Наиболее, на наш взгляд, эвристичный вариант такой теории создан Ю. А. Урманцевым (1970, 1972). Возможность применения этой теории покажем на элементарном примере. В. Т. Покалов (1970), исследовав месторождения молибдена, выделил три их формации: молибденовую, медно-молибденовую и вольфрамо-молибденовую, но если бы он руководствовался теорией изомерии Ю. А. Урманцева, то предсказал бы принципиальную возможность существования, по крайней мере, еще одной формации — медно-вольфрамо-молибденовой, а условившись о соотношении пограничных значений содержания этих металлов в рудном теле, смог бы выделить еще семь формаций: молибденово-медную, молибденово-вольфрамовую, вольфрамово-медно-молибденовую, медно-молибденово-вольфрамовую, вольфрамово-молибденово-медную, молибденово-медно-вольфрамовую и молибденово-вольфрамово-медную. В результате мы получили бы полную совокупность систем, в которые входит молибден, если ограничиться его связями только с медью и вольфрамом. При более последовательном же подходе к молибденовым месторождениям, когда можно учесть геохимические связи молибдена с другими элементами, т. е. когда будет найден общий закон композиции (такие законы Ю. А. Урманцев выражает математическими формулами), получилось бы полное множество систем месторождений, рассматриваемых со стороны их молибденоносности, в том числе подмножества: а) месторождений, которые уже открыты, б) месторождений, которые непременно должны существовать, но еще не открыты, в) месторождений, которые могут существовать в некоторых условиях и существование или несуществование которых нужно доказывать и г) месторождений, которые не могут существовать в земной коре (запрещенные связи молибдена) и поиски которых не должны проводиться. Есть много других чрезы-

чайно интересных практических выходов системного анализа в геологии, но наша работа о нем (объемом более 4 печатных листов) уже много лет лежит без движения (ее негде печатать), а явно ошибочные работы по тому же вопросу публикуются очень легко.

Таким мы видим третье направление математизации геологии. К нему относится около 1% всех работ по применению математики в геологии (Косыгин, Воронин, Еганов, Соловьев и др.).

Все направления полезны, хотя и в разной степени. Все они способствуют превращению геологии из науки идиографической (описательной, исторической) в науку номотетическую (законооткрывающую, точную). Но есть в них и некоторые слабые места. Общий недостаток — по форме очень строгий, а по существу неглубокий способ изложения, непонятный подавляющему большинству лиц, которые привыкли мыслить «геологически», но не «математически». Строгий математический язык надо вводить постепенно. Математический способ мышления проявляется не только в операциях со специальными формулами, но и без них, как дискурсивное* мышление. Он проявляется в частности в аксиоматическом построении науки.

Отметим теперь недостатки частные, присущие отдельным направлениям.

Недостаток первого направления состоит в том, что оно не решает таких проблем, которые давали бы что-то принципиально новое, а решает частные задачи традиционной геологии, причем без их общей системы и без методологического обоснования.

Недостатки второго направления: а) в определении геологических задач оно основывается на исторической (генетической) концепции, имеющей довольно ограниченный характер, а в математическом решении этих задач используется вероятностная концепция, которую трудно согласовать с генетической; б) оно мало внимания уделяет исследованию геологических тел в процессе поисков, разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых; в) новые (математические) идеи вносит в старую систему геологических понятий, хотя давно уже сказано: «не вливай молодое вино в мехи старые».

Недостатки третьего направления носят более формальный характер. Это: а) недооценка значения традиционной фор-

* Дискурсивное знание — знание, логически выводимое из фактов.

мальной логики, в частности ее теории понятий, теории терминов и теории классификации; б) незавершенность попыток аксиоматизации геологии, хотя сама эта идея и прогрессивна (в качестве исходных понятий может следовало бы взять тело, процесс и метод, а не время, пространство, границу и тело); в) математическая символизация геологических понятий без достаточного основания названа формализацией, хотя в логике под формализацией понимается только исчисление предикатов, делаемое с помощью особых символов (символизация — лишь первый шаг формализации).

Трудно в новой области знания сформулировать самые актуальные проблемы. Лишь в форме предположения такими можно назвать следующие проблемы:

1. Превращение конкурирующих научных течений в единую науку — математическую геологию, которая принадлежала бы семейству геологических наук, но отличалась от всех других членов этого семейства своим особым предметом и методом. Математическая геология должна исследовать отношения и свойства геологических тел, выражаемые количественно. Ее методом должно служить математическое, главным образом, стохастическое моделирование. Геологические тела эта наука должна представлять как статические, кинематические и динамические системы. Математическая геология — предметная наука, но в ней есть элементы метанауки, поскольку она исследует также методы геологии со стороны их эффективности. Проблема состоит в том, чтобы правильно определить предмет и метод новой науки, сформировать ее теории, открыть законы, найти ее методологическую базу (Шарапов, 1973б, 1974).

2. Создание математико-геологической теории разведочно-го процесса как самой важной теории в рамках новой науки (Шарапов, 1971). Методика поисков и разведки до сих пор является полунатурой—полунискусством и, может быть, отчасти ремеслом.

3. Поиски методологических оснований для выбора математической модели того или иного предмета исследований и, что еще труднее, для перехода от результата математического решения к геологическому выводу. Эта проблема почти никем не решается, поэтому большинство из того, что дает первые два направления, имеет невыясненную надежность (Шарапов, 1972б).

4. Создание истории применения методов математики в геологии с полной библиографией. В библиографический указ

затель (Математ. геол., 1969) вошло только 8% всей изданной к тому времени литературы, причем отобранной тенденциозно (третье направление совсем не нашло отражения в этом указателе).

5. Системно-структурный подход к геологическим гипотезам, теориям и методам (Шарапов, 1972а). Математическую геологию, как и любую другую науку из семейства геолого-минералогических, а также любую гипотезу, концепцию, любой метод можно исследовать как систему. Это даст возможность делать предсказания и ретросказания.

6. Формализация геологических понятий, суждений, умозаключений и теорий. Геологи часто путают формальные построения с формализованными, но первые касаются формы мысли, а вторые — содержания мысли, выражаемого через форму. Чтобы формализовать что-то, надо сначала это «что-то» иметь, т. е. построить с помощью традиционной формальной логики.

ЛИТЕРАТУРА

- Геология и математика. Н., «Наука», 1967.
- Круть И. В. Исследование оснований теоретической геологии. М., «Наука», 1973.
- Математическая геология. Реферативный систематический указатель основной литературы по 1968 г. Под ред. А. Б. Вистелиуса. Л., Издательский отдел БАН СССР, 1969.
- Покалов В. Т. Опыт классификации эндогенных месторождений молибдена на тектоно-магматической основе. — «Советская геология», 1970, № 1.
- Псарев Н. Приложение теории вероятностей к вычислениям при разведках на золото. — «Вестник золотопромышленности и горного дела вообще». Екатеринбург, 1 авг. 1899 г., № 15.
- Урманцев Ю. А. Изомерия в живой природе. — «Ботанический журнал», 1970, № 2.
- Урманцев Ю. А. Что должно быть, что может быть, чего не может быть для систем. — В кн.: Развитие концепции структурных уровней в биологии. М., «Наука», 1972.
- Шарапов И. П. О математизации и логизации геоморфологии. — В кн.: Математические методы в географии (Тезисы докладов второго Всесоюз. межвед. совещ. по примен. матем. методов в географии). Изд-во Казанского ун-та, 1971.
- Шарапов И. П. Системный анализ в геологии. — В кн.: Перспективы обеспечения газовой промышленности УССР ресурсами природного газа. М., «Недра», 1972а.
- Шарапов И. П. Методологический аспект математизации геологии. — В кн.: Математизация и автоматизация в геологических исследованиях (Краткие тезисы докладов к совещанию). Т. 1. М., 1972б.
- Шарапов И. П. К истории математической геологии. — В кн.: Ма-



тематические методы в геологии (Вестник Львовского ун-та). Львов, 1973а.

Шарапов И. П. О математическом направлении в геоморфологии. — «Изв. АН СССР. Серия географ.», 1973б, № 4.

Шарапов И. П. К созданию метатеорий в геологии. — В кн.: Информационные вопросы семиотики, лингвистики и автоматического перевода. М., ВИНТИ, 1974, вып. 4.

СХЕМАТИЗАЦИЯ ЯВЛЕНИЙ — НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ МАТЕМАТИЗАЦИИ ГЕОЛОГИИ

И. Н. Нюберг

В разных областях геологии, где раньше безраздельно господствовали описательные методы исследования, все более существенную роль начинают играть количественные методы. Первоначально они проникли в геофизику, геохимию и палеонтологию, где выделился круг задач, близких соответственно физике, химии, биологии. Постановка задач и техника измерений заимствовались из близких и уже решенных задач. Основная трудность применения точных методов сводится в этих случаях к освоению измерительной техники, необходимого математического аппарата и к отысканию правильного геологического толкования полученных результатов. В задачах, специфических для геологии, не имеющих себе близких аналогов в других отраслях естествознания, наиболее важным становится не освоение известной техники измерений и обработка данных, а правильная постановка задачи, выбор необходимых для ее решения параметров и способов их измерения.

Такое положение вещей отнюдь не ново, оно скорее типично для естествознания. Для физика, например, не вызывает сомнений, что самая трудная и ответственная часть исследования состоит в том, чтобы найти хорошую формулировку задачи и обосновать ее.

Опыт физики, накопленный в связи с необходимостью ставить задачу так, чтобы для ее решения можно было пользоваться математическими методами, несомненно богаче, чем у любой другой естественной науки. Для геологии, как нам кажется, использовать этот опыт в ряде случаев более важно, чем пытаться свести геологическую задачу к «похожей» физической. В то же время мы не можем указать ни одной работы, адресованной непосредственно геологам, где соответ-

ствующий круг вопросов надлежащим образом обсужден. Попытаемся, хотя бы в очень общих чертах, обратить внимание геолога на наличие такого опыта, выделить характерные этапы научного исследования явления и выявить типичные трудности и типичные заблуждения.

Основные этапы исследования

Схематизация явления. Основой всех естественных наук является наблюдение. Наблюдение, прежде чем стать объектом научного исследования, должно быть описано. Описание, в силу неизбежной неполноты, сохраняет лишь некоторые черты наблюденного явления, которые признаются важными. Поразумевается, что все неупомянутое может быть отброшено, как несущественное.

Деление на важные и неважные обстоятельства не может быть сделано безотносительно к тому, какие стороны явления нас будут интересовать в дальнейшем. Например, когда интересуются механическими свойствами тел, температуру и химический состав тел считают свойствами неважными. Для широкого круга задач, сводимых к механике точки, также неважными оказываются размеры и форма тел и т. д.

Описание явления, сделанное с целью изучения определенного круга вопроса, принято называть схематизацией явления, если в нем сохранены все свойства явления, существенно влияющие на решение этих вопросов, и опущены несущественные свойства.

Например, в механике точки пренебрегают размерами тела и в то же время сохраняют как существенное свойство массу тела. На первый взгляд это выглядит парадоксально: как может быть конечная масса у тела, не имеющего размера? Но это означает лишь, что для наших задач размеры несущественны и поэтому их не измеряют и в расчет не принимают.

Всякое описание явления, поскольку оно не может быть полным, всегда есть некоторая схематизация. Но до тех пор, пока не оговорено, какие стороны явления нас будут интересовать, нельзя сказать, правильна или неправильна схематизация. Можно лишь утверждать, что всегда найдутся задачи, для которых это описание неполно и схематизация неправильна.

Поиск схематизации несомненно самая сложная и самая ответственная часть построения научной теории. Пока не

удалось сформулировать правильной, в указанном смысле, схематизации, всякие количественные и качественные оценки не имеют точного смысла, так как неизвестно, в какой мере и к каким условиям относятся эти соображения, что необходимо контролировать, и с какой точностью, чтобы проверить результаты работы.

Основой для создания схематизации является опыт в широком смысле слова, т. е. все то, что исследователь может использовать для выяснения вопроса, что существенно, а о чем можно не упоминать и что можно не измерять. Для решения этих вопросов иногда можно ставить специальные опыты, но их количество всегда ограничено. Постоянно остаются вопросы, которые приходится решать, как говорят, интуитивно, т. е. на основании имеющегося опыта, сформулировать который и обосновать ссылками на прямой эксперимент не удается.

Обосновать предложенную схематизацию строго экспериментально не представляется возможным. Но когда схематизация уже предложена, можно и нужно проверить ее. Это делают путем проверки ее следствий. Если предложенная схематизация оказалась удачной, быстро растет набор разнообразных экспериментальных подтверждений тех постулатов, которые первоначально выдвигались на основании интуиции. Таковы, например, постулаты механики Ньютона, принципы термодинамики, законы Фарадея и т. д., которые в настоящее время можно считать экспериментально доказанными в очень широких пределах; первоначально же эти принципы возникли как гениальная догадка. Новая хорошая схематизация быстро обрастает дополнениями, расширяются границы ее годности за счет присоединения к исходным постулатам результатов новых исследований, возникают более частные схематизации и оказывается возможным решать широкий круг практических задач.

Для задачи, где выбранная схематизация признана правильной, все дальнейшие выводы могут быть сделаны формально безупречно и доказательно. Хочется обратить внимание на одну характерную черту познания. Вольная формулировка ее звучит так: «Чем больше мы уже знаем, тем больше узнаём». Чтобы пояснить эту мысль, рассмотрим схематический путь познания:

1. Выделяются положения, выясненные настолько хорошо, что их можно положить в основу как постулаты и не проверять в ходе данной работы (это то, что «мы уже знаем»).

2. Проводятся наблюдения и опыты, которые дают новые данные об объектах исследования.

3. Делаются выводы, являющиеся следствиями постулатов и новых данных. Естественно, что при том же объеме экспериментальных данных следствия будут тем богаче и содержательнее, чем богаче и содержательнее были постулаты. (Это то, что «мы узнаём»). Далее эти результаты могут быть взяты в качестве постулатов для новой схематизации. Это дает возможность двигаться вперед.

Множество неотличимых явлений. Модель элементов этого множества. Ограничивая описание перечислением лишь существенных свойств, мы приходим к тому, что одно и то же описание имеют многие явления, отличающиеся по свойствам, которые отнесены в разряд несущественных. Это означает, что исследование свойств описания в равной мере является исследованием свойств некоторого множества явлений. Приведем простой пример такого множества.

При многократном повторении эксперимента мы считаем, что время проведения опыта, место и другие свойства, отличающие одну реализацию опыта от другой, несущественны. Свойства же, которые мы контролируем и считаем существенными, не меняются от одного опыта к другому. В этом случае говорят о многократном измерении одной и той же величины.

Рассмотрим еще один пример, говорящий об относительности понятия «одно и то же явление». «Можно ли дважды войти в одну и ту же реку»? Если существенными свойствами реки считать очертания берегов, растительность и постройки на берегу, словом все, что существенно для узнавания местности, мы можем многократно купаться «в этой же самой реке» и «в этом же самом месте». Но мы можем считать существенным другое — какая именно вода в данный момент течет в реке. Тогда, если отметить массу воды, в которой мы купались, например, красителем, нет никакой надежды при следующем купании обнаружить вокруг себя ту же воду. Тогда мы вынуждены ответить, что дважды выкупаться в одной реке невозможно.

Таким образом, только в рамках некоторой схематизации можно дважды наблюдать одно и то же явление. Сами явления неповторимы. Это ясно хотя бы из того, что когда говорят «два явления», это значит, что существует способ отличить одно от другого.

Если объект исследования велик или удален, или его исследования дорого и трудоемко, словом всякий раз, когда ис-

следование объекта затруднено или невозможно, прибегают к моделированию. Изучение явления, интересующего нас непосредственно, заменяют изучением другого явления, неотличимого от него по существенным свойствам. На этом основано испытание качеств самолета, гидротрубин и других инженерных сооружений на модельных установках. Такую же роль играют и аналоговые устройства и ЭВМ, когда их используют в качестве моделей.

Моделью для элементов множества неотличимых явлений, (в рамках определенной схематизации) называется явление, входящее в это множество и выбранное для изучения данного множества из соображений простоты и удобства исследования. Там, где схематизация оправдана, изучение модели заменяет изучение моделируемого явления.

Математическая модель — теория явления. Часто схематизация приводит к такому изоморфному множеству явлений, в которое легко включить на правах явления некую математическую абстракцию, также «неотличимую» по существенным свойствам от других элементов этого множества. Это означает, что свойства абстракции находятся во взаимно однозначном соответствии со всеми существенными свойствами явлений данного множества.

Математическую абстракцию можно взять в качестве модели всех явлений, сводимых к данной схематизации. Исследование явления можно тогда заменить анализом модели и соответствующими расчетами. Например, в качестве модели колебательного контура, механического маятника или осциллятора, можно рассматривать дифференциальное уравнение 2-го порядка с постоянными коэффициентами.

Если математический аппарат достаточно разработан, то все задачи, которые могут возникнуть в рамках данной схематизации, могут быть решены расчетом, а эксперимент нужен только для задания необходимых параметров математической модели. Математическую модель явления, для которой разработаны все следствия, часто называют теорией явления.

Но может оказаться, что у схематизации нет математического аналога, т. е. нет развитой математической теории, описывающей свойства такой системы. В этом случае, если схематизация представляет большой научный интерес, соответствующий математический аппарат начинает специально разрабатываться. Так, например, математические теории, раз-

работанные в связи с задачами физики, составляют целую область математики, математическую физику.

Необходимость сменить схематизацию явления и соответственно модель и теорию явления неизбежно возникает, как только исследователя начинают интересоваться вопросы, решение которых существенно зависит от свойств явления, которые были признаны несущественными при создании схематизации. Например, в некоторых механических задачах сопротивлением среды и трением можно пренебречь, а в других нельзя. Поэтому одно и то же явление будет иметь разную схематизацию, модель и теорию в зависимости от круга вопросов, который мы хотим выяснить.

Обоснование применения точных методов к геологическим задачам

Геологи, несомненно, встречались с концепциями, близкими к изложенной, но, главным образом, в предисловиях или заключениях к книгам по физике. Возникло представление, что эти общие соображения, хотя и верны, но имеют лишь философское значение. Постараемся показать, что сделанные утверждения имеют самое непосредственное отношение к решению конкретных задач геологии.

Описания наблюдений и их обобщение. Общий тезис о том, что для решения разных задач следует пользоваться разными описаниями, сам по себе легко принимается. Практически же геолог часто стремится описать явление со всеми доступными наблюдению подробностями. Предполагается при этом, что по мере надобности можно из такого описания выбирать «нужное». Однако практически, когда возникает конкретная геологическая задача, оказывается, что многие существенные для этой задачи данные не отражены в общем описании. Возникает необходимость вновь обращаться к самому объекту. Даже когда задача поставлена и с самого начала ясно, от каких свойств может зависеть ее решение, и тогда выбор методов исследования, необходимой степени подробности в изучении деталей остается весьма сложной проблемой.

Чем более неопределенно соответствие между описанием и задачей, тем менее полезно описание. Если соответствие совсем не ясно, описание бесполезно в научном отношении.

Всякий отчет о работе, кроме самого факта, что какая-то задача успешно решена, всегда содержит соображения по

поводу того, как следует воспользоваться накопленным опытом при решении подобных задач в дальнейшем. Если в обобщающей части отчета содержится схематизация изученного явления, то его можно рассматривать, как модель для других аналогичных явлений, которые еще не изучались но по существенным свойствам неотличимы от изученного. Однако всегда есть риск попасть в область, где схематизация перестает работать. Чтобы не попасть в тупик и все заключения делать под контролем опыта, необходимо основывать теоретические построения на базе свойств, допускающих экспериментальную проверку. Из этого разумеется, не следует, что должны быть поставлены все мыслимые эксперименты. Важно иметь возможность экспериментально проверить любое утверждение, если возникает подозрение, что в данных условиях это утверждение может не выполняться.

В этом отношении не выдерживают критики многие представления, основанные на генетических концепциях. С помощью генезиса «непонятное» заменяется еще более «непонятным». Нередко явления, непосредственно наблюдаемые, пытаются описывать и объяснять на основании того, что должно было быть миллионы лет назад.

Нельзя отрицать, что генетические представления в какой-то мере отражают верные наблюдения, но оказываясь непроверяемыми, они приносят и несомненный вред. История науки показывает, что описания явлений природы только выиграли от того, что все экспериментально непроверяемое было отброшено.

Резюмируя сказанное, сформулируем некоторые требования к описанию явлений. Следует: 1. Сознательно избегать «универсальных» расплывчатых описаний, которыми все равно нельзя пользоваться. 2. Четко формулировать задачи, чтобы было ясно, когда встречаются те же или близкие задачи и в каком смысле близкие. 3. Стремиться кроме констатации фактов приводить экспериментально проверяемые соображения о причинах, приведших к этим фактам. 4. Отказаться для объяснения тех или иных явлений от генетических представлений, если нет возможности их проверить. 5. Основной упор делать на анализ условий, при которых результат данного исследования может быть использован другими, в какой мере и до каких пор.

Если сознательно следовать этим требованиям при оформлении результатов работы, можно без ущерба для существа дела сократить объем геологических отчетов, облегчить пре-

емственность в работе разных исследователей, наконец, создать схематизации геологических явлений и процессов, необходимые для эффективного применения точных методов в геологии.

Применение математических методов. Если задача такова, что для нее удалось найти хорошую схематизацию, дело обстоит сравнительно просто, требуется лишь эту схематизацию записать языком математических символов, проверив адекватность математического описания и схематизации. (Таковы, например, некоторые задачи сейсмоки). Другое дело, когда речь идет о задачах литологии, стратиграфии, тектоники, которые часто называют специфическими для геологии. Для них еще нет хорошо проверенных схематизаций.

Одни исследователи считают эти задачи очень сложными, всякую попытку свести их к простой схематизации заранее обреченной на провал, и на этом основании отказываются применять математику. К этому мало что можно добавить, разве, что перефразировать поговорку, — «если ничего не делать, — не ошибешься». Другие стремятся вводить количественные оценки, мало заботясь о том, какой геологический смысл имеет избранная для расчетов математическая модель. Делаются попытки использовать математическую модель даже тогда, когда очевидно, что эта модель не соответствует стоящей задаче. В качестве оправдания таких действий приводят примеры совпадения расчетов с экспериментом.

Но математическую теорию связывает с реальным явлением только «правильная» схематизация. Выводы, сделанные математическим путем, верны до тех пор, пока верна схематизация и пока примененная математическая модель ей полностью соответствует.

Напомним, в связи с этим одну теорему математической логики: «Из одного неверного допущения — следует любое». Понятно поэтому, как взыскательно следует искать математическую модель и проверять ее пригодность.

О статистических моделях. Разберем некоторые примеры. В них та или иная статистическая задача выбирается в качестве модели геологической задачи. Выбор примеров не случаен. Во-первых, статистические модели в математическом смысле очень просты и не отвлекут нас в сторону математических трудностей. Во-вторых, они пользуются особой популярностью у геологов. Можно услышать даже такие высказывания, что только статистические модели вообще пригодны в геологии и адекватны ее задачам. В-третьих, это модели,

едва ли не самые коварные с точки зрения их применимости к решению конкретных задач. В геологических работах задача нередко сразу формулируется, как задача изучения случайной величины, заданной таблицей, или случайной функции, заданной ее реализацией. При этом наивно полагать, что наличия этих данных уже достаточно, чтобы считать задачу поставленной, и искать для решения конкретную статистическую модель. Сами по себе эти данные ничего не позволяют сказать. Необходимо еще предположение об их связях между собой. Например, в простейших случаях необходимо предположить, что имеет место нормальное распределение случайной величины, или стационарность и эргодичность случайной функции. Для каждой конкретной задачи такие предположения должны быть тщательно проверены, и только если они действительно обоснованы, дальнейшее применение статистической модели будет оправдано и может принести пользу.

Однако именно указанные статистические свойства случайной функции и случайной величины трудно проверить.

Пример статистического усреднения. Давно известно, что точность измерений прибора можно повысить в \sqrt{n} раз, если провести n измерений и взять их среднее $\sum_{i=1}^n x_i / n$. Если есть основания считать, что измерялась случайная величина X , подчиняющаяся закону нормального распределения, можно в рамках справедливости такой модели беспредельно повышать точность измерения. Из этого следует, что нет надобности делать более точные приборы, а достаточно увеличить число измерений. Однако в измерительной технике этим пользуются крайне осторожно. В сколько-нибудь ответственных измерениях, где нужна гарантия точности, предпочитают пользоваться более точным прибором, а не стабилизировать условия измерений, необходимые для использования модели статистического усреднения.

Мы рассмотрели самую простую статистическую задачу и самый устойчивый статистический параметр. Задачи, где с большей надежностью можно проверить необходимые для статистической модели постулаты, при современном состоянии естествознания редки не только в геологии, но и в физике.

Прежде чем подготовить задачу для статистического описания, необходимы длительные, кропотливые предварительные исследования в рамках более простых и очевидных детерминированных моделей.

Наконец, все измерения должны проводиться в стационарных условиях. Обеспечить стационарность условий с хорошей гарантией редко удается, а без этого все статистические характеристики «плывут» во времени, и стационарная статистическая модель уже не описывает реальные нестационарные процессы.

Мы не хотим, разумеется, принизить значение статистических моделей, которые позволили получить целый ряд блестящих результатов в решении прикладных задач. Но первых, статистические модели отнюдь не универсальны, а, во-вторых, их применение возможно лишь тогда, когда задача перед тем специально была подготовлена рядом предварительных исследований так, что для нее можно постулировать те или иные статистические свойства и связи. Задача такой подготовки является чрезвычайно трудоемкой и требует большой экспериментальной культуры и строгости в выводах.

Пример наличия корреляционных связей. Приведем еще один пример, говорящий о том, как легко можно ошибиться, если без глубокого анализа условий задачи выбирать статистическую модель и делать поспешные выводы на основании лишь конечного результата. В обзоре Б. О'Брайена (1966) проанализирован пример исследования роли Гольфстрима в прогнозе распределения айсбергов в северной части Атлантического океана. Наиболее веским основанием в пользу связи между Гольфстримом и частотой появления айсбергов обычно считается тот факт, что коэффициент корреляции среднемесячной температуры (Киуэст—Флорида) с числом айсбергов равняется 0,65. На этом основании утверждается, что Гольфстрим является одной из основных причин появления айсбергов.

Б. Кинсмен (1957 г., см. обзор О'Брайена, 1966) в качестве доводов против столь далеко идущих следствий приводит расчет коэффициента корреляции между средним числом айсбергов за месяц (за период с 1942 по 1951 г.) и средним числом запятых на странице проанализированной оригинальной статьи; он получил коэффициент корреляции 0,81.

Пример сложной статистической модели. Рассмотрим теперь задачу, где в качестве модели объекта взята прямоугольная матрица, элементами которой являются нормально распределенные случайные величины. Все трудности, связанные с необходимостью проверить, в какой мере свойства объекта можно рассматривать, как нормальную случайную

величину, остаются и здесь и растут по мере увеличения числа свойств, которые должны быть записаны в матрицу. Сосредоточим внимание на новых сложностях, которых не было в первых двух моделях. Рассмотрим для примера модель, предложенную Д. А. Родионовым (1965, 1968) для решения задачи разбиения объекта на однородные части.

Эти работы выбраны, во-первых, потому, что изложенная в них точка зрения на связи геологии с математикой очень характерна. Во-вторых, здесь четко изложена математическая сторона, так что нет нужды отвлекаться на уточнение чисто математических вопросов. Наконец, известность работ Д. А. Родионова и его авторитет в области применения статистических оценок в геологии делают особо полезным анализ именно его работ.

В качестве модели объекта, который предстоит разделить на однородные части, предлагается взять матрицу Ξ^T .

$$\Xi^T = \begin{pmatrix} \xi_{11} \dots, \xi_{1j} \dots, \xi_{1m} \\ \xi_{21} \dots, \xi_{2j} \dots, \xi_{2m} \\ \xi_{T1} \dots, \xi_{Tj} \dots, \xi_{Tm} \end{pmatrix}$$

где ξ_{ij} — свойства объекта, $j=1, 2 \dots m$ — номер свойства, $i=1, 2 \dots T$ — номер эксперимента, T — число измерений полного комплекса параметров $T_i = (\xi_{i1}, \xi_{i2}, \dots, \xi_{im})$ можно рассматривать, как m — мерный вектор.

Относительно свойств сделаны следующие предположения:

- 1) все измеренные ξ_{ij} — реализации случайной величины, имеющей нормальное распределение;
- 2) все измерения ξ_{ij} — независимые;
- 3) дисперсия σ_j — зависит только от j .

Предлагается считать объект однородным, если любое возможное разбиение его на A и \bar{A} , где \bar{A} дополняет A до T , не дает значимого различия между средним значением свойств для множества A и \bar{A} . Значимость проверяется по критерию χ^2 . Формула для проверки этой гипотезы выглядит так:

$$U(r^2) = \frac{n_A + n_{\bar{A}} - 1}{n_A n_{\bar{A}} (n_A + n_{\bar{A}})} \sum_{j=1}^m \frac{\left(n_{\bar{A}} - \frac{\sum_{t \in A} X_{tj}}{n_A} - n_{\bar{A}} \frac{\sum_{t \in A} X_{tj}}{\sum_{t \in T} X_{tj}} \right)^2}{\frac{\sum_{t \in T} X_{tj} - \frac{1}{n_A + n_{\bar{A}}} \left(\sum_{t \in T} X_{tj} \right)^2}{n_A + n_{\bar{A}}}}$$

где $X_t \{ X_{t_1} X_{t_2} \dots X_{t_i} \dots X_{t_m} \}$ — есть результаты наблюдений в $t \in T$ — точках.

Если некоторые разбиения на A и \bar{A} дали значимое различие, принимается такое разбиение объекта на две части, при котором это различие наибольшее. Далее, аналогично проверяется однородность каждой части и производится разбиение, если эта часть неоднородна. Как только задан объект, т. е. матрица свойств, вся дальнейшая процедура однозначно определена и к концу этой процедуры получится некоторое разбиение.

Основное внимание в работе уделено построению формальной процедуры разбиения матрицы на части, сделаны необходимые оговорки, чтобы эта процедура имела математический смысл. И полностью преданы забвению те стороны научного исследования, о которых мы вели речь вначале. Мы говорили, что право применять математические методы при решении задач естествознания может дать только тщательная проверка соответствия математической модели с той схематизацией, которую требует эта задача. Только в той мере, в какой удалось убедиться в правильности выбранной модели, можно говорить о ценности и геологическом смысле, т. е. значении математической теории в естествознании. Д. А. Родионов (1968) исходит из того, что исследователь всегда ограничен определенным конечным материалом измерений, а поэтому объект однозначно задан и задача состоит лишь в разграничении матрицы данных. Далее он предлагает в качестве метода разграничения на однородные части один из возможных статистических критериев разделения.

Формально не составляет труда разбить матрицу данных в соответствии с предложенным критерием. Но как установить ценность полученного разбиения? Одно из двух: или можно считать, что матрица содержала существенные свойства, необходимые для решения задачи, и не содержала лишних свойств, играющих роль шума, а делящее правило так же выбиралось в соответствии с требованиями геологического смысла задачи, тогда можно говорить о геологической «правильности» разбиения (это и будет случай соответствия между математическим описанием и задачей). Или это соответствие не проверялось, оно не очевидно и может не выполняться, тогда разбиение матрицы на части не имеет никакого смысла.

Рассмотрим геохимический пример:

При разбиении профиля на однородные части по результатам содержания в пробах (Родионов, 1965) были выделены две области, существенно отличающиеся друг от друга средними значениями. С точки зрения некоторого критерия их можно было рассматривать как однородные. Ни здесь ни в другом месте Д. А. Родионов не говорит об особенностях своего критерия, об ограниченности круга задач, где расчленение может быть описано выбранной статистической моделью. В разобранным примере были отмечены также две одиночные пробы со значением, сильно отклоняющимся от среднего. Но они не выделялись в отдельные области неоднородности, так как согласно выбранному критерию значимость различий в среднем зависит еще от числа измерений. В тех случаях, когда выброс связан со случайной ошибкой анализа — это хорошо и отвечает геологическому существу задачи, «сглаживает» случайную погрешность. Но возможна и иная задача, в которой значительные погрешности в измерениях принимаются маловероятными, а основной интерес представляют резкие аномалии, выделившиеся хотя бы по одной—двум пробам. Тогда попытка расчленения, основанная на предложенном критерии, не дает нужного разбиения.

Из сказанного следует, что нельзя предложить единый метод разбиения, который бы опирался только на сугубо математические соображения и оказался бы при этом универсальным. Поэтому нельзя согласиться с Д. А. Родионовым (1968), что его метод является общим для большинства задач разграничения в различных отраслях геологии.

Пока речь идет о математической задаче, делаются все необходимые оговорки для того, чтобы с позиций математики все вычисления имели смысл. Однако совсем не обсуждаются и не формулируются содержательные допущения, которые необходимы, чтобы математические процедуры были осмыслены геологически. А без этого нельзя ответить на следующие вопросы: при каких условиях матрицу можно назвать геологическим объектом? Как убедиться в том, хорошо или плохо полученное разбиение? При каких условиях оно имеет геологический смысл? Как оценить и сравнить различные разбиения между собой? Какой смысл имеет утверждение о существовании универсального разбиения, годного для большинства задач геологии? Как следует выбирать уровень значимости в конкретных условиях? И, наконец, главный вопрос, когда, как и при каких условиях геолог может пользоваться методом?

Попытка избежать трудностей схематизации регулярно приводит к потере обратной связи между задачей и математической теорией. Остается неясным, какие стороны явления описывает математика, а какие нет.

ЛИТЕРАТУРА

О'Брайен Б. Явления, связанные с полярными сияниями. Успехи физических наук. 1966, т. 89, вып. 4.

Родионов Д. А. К вопросу о статистической теории однородности геологических совокупностей. — «Геохимия», 1965, № 4.

Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., «Недра», 1968.

ФИЛОСОФСКИЕ (МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ) ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИКИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

И. В. Назаров

Некоторые геологи полагают, что использование математики ведет к отрыву от действительности и тем самым — к идеализму. Так, Г. Л. Поспелов (1968) генетический подход отождествляет с причинным, а математический — с формально-описательным и в соответствии с этим считает, что «крайние критики «генетизма» в геологии» делают шаг в сторону позитивизма. Он утверждает, что сторонники применения математики в геологии, пренебрегая генетическим анализом явлений, стихийно двигаются к идеализму.

Но уже само отождествление генетического подхода с причинным не совсем корректно, ибо генетический подход, выясняя связь тех или иных природных процессов во времени, позволяет рассматривать объект в развитии от начальных стадий до конечных и очень часто не ставит вопрос об источнике, причине этого развития. Больше того, именно генетический подход в геологии и является во многом описательным, а выводы, следующие из генетических гипотез, неоднозначными и зачастую противоречивыми. Только применение системного подхода позволило выяснить место и роль генетического метода в научном исследовании. К тому же противопоставление генетического подхода формальному лишено оснований, ибо формализовать можно все аспекты системного подхода — структурный, генетический, функциональный.

А. В. Бухникашвили (1972) считает, что математизация

геологии, предлагаемая сибирскими учеными, «приводит к формализму и идеализму... Предложенные авторами «математизации» основные формализованные понятия выражают не реально существующие в природе вещи, а абстракции, созданные в человеческом воображении» (стр. 150). Но известно, что любые понятия, в том числе и неформализованные, являются абстракциями, которые нельзя непосредственно отождествлять с действительностью. Применение математики не связано с идеализмом и не ведет к нему. К идеализму ведет только абсолютизация математики, когда пре дается забвению материя. Когда же знания об объектах, математические абстракции рассматриваются как отражение действительности, идеализму места не остается.

Для широкого использования математических методов в науках о Земле необходимо: осознание недостаточности традиционных методов и необходимости дополнения их новыми, в том числе математическими методами, имеющими огромные познавательные возможности; доказательство возможности их использования в этих науках и несостоятельности доводов критиков математизации.

Действительно, если наука успешно решает теоретические и практические задачи с помощью традиционных методов, то вопрос о ее математизации не актуален. А. В. Бухникашвили (1972) об этом пишет прямо: «Геологические науки обладают более чем достаточными теоретическими и практическими достижениями» (стр. 143). Такой взгляд хотя и имеет сторонников, но весьма уязвим для критики, ибо все больше не соответствует реальному положению.

Достижения практической геологии, опирающейся на традиционные методы, общеизвестны. В нашей стране создана минерально-сырьевая база, в последнее время открыты крупные месторождения железных руд, нефти, газа и т. д. Однако немаловажно и то, что они сделаны в основном в малоисследованных областях (Средняя Азия, Сибирь, Дальний Восток) или на больших глубинах — это как бы расширение области применения традиционных методов. В хорошо изученных областях (Урал, Русская платформа) успехи уже скромнее, так как здесь сказывается недостаточность, ограниченность традиционных методов, более остро ощущается их малая эффективность.

В области теории положение еще сложнее. Для характеристики его приведем несколько высказываний ведущих ученых. Так, А. В. Пейве, Н. М. Страхов и А. Л. Яншин (1961,

стр. 13—14) указывают, что в «геологии до сих пор неизвестного, неясного и спорного остается гораздо больше, чем точно выясненного. Общая теория геологических процессов только еще начинает разрабатываться, и то лишь в некоторых областях, например, в литологии. Наши представления о строении глубоких частей земной коры, о причинах тектонических движений, о процессах метаморфизма горных пород, об условиях образования многих полезных ископаемых остаются нередко гипотетическими». Характерно в этом отношении мнение академика А. В. Сидоренко (1970, стр. 76), который отмечает: «В своих основных теоретических представлениях она (геология — И. Н.) находится на уровне, достигнутом лет двадцать—тридцать назад. В какой-то мере эти представления модернизируются, но они не соответствуют ни современному уровню развития естествознания (физики, химии, математики), ни тому новому фактическому материалу, который накопила геология».

Некоторые авторы отмечают, что современные теоретические представления и понятия геологии, а также большинство классификаций геологических объектов с точки зрения логики совершенно неудовлетворительны, геологический язык имеет неопределенную семантику. Нередки высказывания о «кризисе», «кризисных явлениях», «стагнации» в геологии.

Современный этап развития геологии рассматривается обычно как описательный, описательно-эмпирический или эмпирический. Но эти определения отнюдь не равнозначны. Геология давно прошла этап, когда главное внимание уделялось полному описанию, систематизации и классификации объектов исследования. В современной геологии много генерализующих обобщений, эмпирических законов, ибо выявлены многие связи между природными процессами. Произведена определенная логическая и математическая обработка эмпирических данных. Но внутренние причины, механизмы действия этих связей достоверно неизвестны и поэтому наука вынуждена обходиться только знанием явлений, а не сущности. Роль теории в геологии играют эмпирические обобщения и качественные гипотетические построения. Связано такое положение в основном с объективными причинами: слабой изученностью Земли, особенно ее подкорковых зон, и сложностью геологических процессов, в которых участвуют различные формы движения материи — механическая, физическая, химическая и биологическая.

Одной из причин недостаточного внимания к теоретическим исследованиям является недооценка практического их значения. А. В. Бухникашвили (1972, стр. 150), критикуя работы по формализации геологических понятий, пишет: «При помощи этой отвлеченной формалистики не только невозможно открыть месторождение полезного ископаемого, но и вообще сделать что-либо полезное в геологии». В современной геологии распространен «культ фактов» и мало исследователей-теоретиков.

Такой уровень развития науки, когда она занимается преимущественно исследованием и описанием внешних сторон и связей объекта, его отдельных отношений, в логике и методологии науки носит название эмпирического. Для него характерно отождествление научных абстракций с реальностью, предмета изучения с самой действительностью, с непосредственно наблюдаемыми объектами. Эмпирические законы на этом уровне развития науки проверяются путем прямого обращения к действительности. Наука здесь как бы не отходит от самих объектов, не использует высокие уровни абстракции и математический аппарат. Если математика и применяется, то как вспомогательное вычислительное средство. На эмпирическом уровне невозможно из одних положений науки путем применения логических средств вывести другие положения с высокой точностью и достоверностью.

Теоретический уровень знания характеризуется тем, что наука представляет собой такую систему истинного знания, которая выводится из определенных принципов. Наиболее распространенным методом построения теории является аксиоматический. Основные принципы теории представляют собой обобщение опытных данных и в то же время являются основополагающими абстракциями, позволяющими теоретически конструировать ее объекты и развивать систему ее понятий. Составляя теоретический базис научного знания, они в сокращенной и концентрированной форме содержат накопленную предшествующую информацию и определяют характер и сущность научной теории. Предметом науки здесь уже являются не сами объекты действительности, а логические конструкции. Проверка истинности теоретического знания не может быть непосредственно осуществлена при помощи наблюдения и эксперимента, ибо содержание теории не имеет чувственного коррелята. Связывается теория с действительностью через эмпирическую интерпретацию. В процессе теоретизации науки все большее значение приобретает филосо-

фия, формулирующая основные гносеологические принципы движения мышления от познания явления к сущности, а также логика и математика. Для создания теоретического знания необходимо совершенствование основных геологических представлений как в содержательном плане, так и формальном. Математика используется на этом уровне для совершенствования концептуального аппарата и создания формализованного языка. Формализация позволит свести оперирование образами к оперированию символами по стандартным правилам.

Формализация геологических представлений устраняет многозначность выражений естественного языка, позволяет ясно и точно формулировать исходные положения и по точно сформулированным правилам выводить следствия, дает возможность установить критерий осмысленности выражений и порядок преобразования одних правильных выражений в другие. В настоящее время в геологии критериями осмысленности представлений являются «здравый смысл» — как концентрированное выражение предшествующего опыта и знания, «общепринятость», интуиция, пригодные лишь для решения простых задач, а строгие формальные критерии осмысленности отсутствуют. Поэтому можно говорить об их формальном несовершенстве. И когда А. В. Бухникашвили (1972, стр. 147) указывает, что «совершенно неправильно говорить о низком уровне формальной зрелости геологии как науки, если принять во внимание ее историческое прошлое и вклад в развитие народного хозяйства», то это только вносит путаницу.

Формализация вносит в науку точность и логическую строгость, является мощным средством ее прогресса, знаменующая новый, высший этап развития науки. В результате формализации происходит обобщение, концентрация и унификация накопленного эмпирического материала, часто выявляются новые закономерности. Она необходима, таким образом, не только для более полного использования математических методов и ЭВМ, но и для совершенствования геологических понятий и представлений. Только этот этап применения математики позволяет говорить о математизации, как о росте теоретических представлений. Тиргартнер (Thiergartner, 1968) полагает, что теоретическая геология должна отличаться: 1) господством преимущественно математико-кибернетического мышления моделями; 2) четкостью, точностью, однозначностью информации, понятий, терминов, высказыва-

ний, теорий и основных представлений; 3) высокой достоверностью геологических высказываний, поисковых критериев, прогнозов месторождений.

Сейчас нет необходимости доказывать огромные познавательные возможности математики. Опыт ее применения в различных областях знания свидетельствует, что математический аппарат, в который входят такие средства, как математическая логика, теория вероятностей, теория игр, теория множеств, теория информации и др., способен решать весьма сложные задачи. Нельзя не согласиться с А. М. Боровиковым (1971, стр. 120), утверждающим, что «методы современной математики (включая математическую логику и кибернетику) применимы для точного и однозначного описания любых объектов, любой сложности, изученных как количественно, так и качественно, а также для создания научных языков, точных абстрактных моделей любых сложных процессов, для создания целых теорий и научных направлений и, наконец, для логической разработки методов построения самих научных теорий и их систем». И действительно, в физике например, различные разделы математики играют огромную роль. Для физика математика уже давно представляет «не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории» (Дайсон, 1967, стр. 112).

Принципиальная возможность применения математики для изучения геологических процессов заключается, по нашему мнению, в том, что сущность, внутренняя основа этих процессов, физическая или химическая. Несмотря на то, что любой природный процесс не исчерпывается сущностью, он богаче, шире ее, но основа его на определенном элементарном уровне достаточно полно отражается законами точных наук, математизированных почти полностью. Что касается разнообразия условий, в которых происходят геологические процессы, то применение стохастических моделей позволяет учитывать большое количество факторов, находящихся в сложной зависимости между собой и не поддающихся отдельной оценке.

Некоторые исследователи полагают, что применению математики в науках о Земле препятствует качественный характер данных о природных процессах. В действительности знание количественных сторон объекта и служит одним из условий познания его качественных характеристик. В любом

объекте качество и количество образуют неразделимое единство. Качественно различные объекты требуют применения определенных разделов математики. Современная математика и предоставляет естественным наукам мощный арсенал различных познавательных средств.

А. В. Бухникашвили (1972) высказал мнение, что роль математики в разных науках неодинакова и зависит от общности законов изучаемых ими процессов. Признавая огромную роль математики в физике, он отводит ей в геологии незначительную роль, аргументируя это тем, что физика изучает общие законы природы, характерные для многих процессов, а геология решает лишь «конкретные задачи». «Те отношения, которые существуют между физикой и математикой, никогда не установятся между рядом отраслей науки и математикой и геология относится к числу именно таких наук» (Бухникашвили, 1972, стр. 150). Такая точка зрения не кажется убедительной. Задачи геологии, по крайней мере теоретической состоят в открытии общих законов строения и развития Земли и ее частей. Отнимать у геолога эти задачи — значит, рассматривать ее как частную прикладную науку, значительно суживать ее предмет и перспективы развития.

А. В. Бухникашвили (1972, стр. 150) считает, что формализовать геологию нельзя и призывает исследователей «примириться с мыслью, что существуют науки, которые не могут подчиняться общим формализованным понятиям и операциям, поскольку имеют конкретные задачи, требующие конкретного (а не символического) решения. Поэтому рассуждения при помощи общих категорий в этих науках являются абстрактными, формальными и, следовательно, бессодержательными». В таком случае непонятно, как можно объяснить многие открытия в физике, вполне конкретные, сделанные с помощью математики, а затем подтвержденные экспериментально, например, открытие позитрона?

Ю. Г. Леонов и В. Н. Шолло (1973) высказывают сомнение в возможности и в реальной пользе для геологии формальных построений в силу следующих доводов: «Существует, вероятно, определенная связь между возможностью создания единой системы формализмов и тем обстоятельством, исследует ли данная наука свою собственную форму движения материи или нет... Безоговорочно принимая, что геология не имеет своей особой формы движения материи и не является фундаментальной наукой, и с этих позиций сомнительной пред-

ставляется возможность построения в ней формализованной системы в том виде, как это предлагают сибирские ученые» (стр. 80). Такой вывод представляется мало обоснованным. С тем, что геология не изучает особую форму движения материи, мы полностью согласны. Но связывать возможность формализации науки с изучением собственной формы движения материи неверно. В настоящее время более или менее формализованы отдельные разделы физики, логики, математики, делаются попытки формализовать некоторые разделы биологии, лингвистики, психологии. Но ни логика, ни математика, ни лингвистика не изучает особые формы движения материи.

Одним из главных препятствий математизации геологии, по нашему мнению, является стиль мышления наглядными образами — определенные каноны, стандартные представления, естественный язык. Этот стиль определяет категориальный аппарат науки и принципы его логического построения. Одни исследователи не видят, другие не желают видеть за формальными понятиями и абстрактными моделями «свои», «родные» геологические объекты, символический характер формализованного знания кажется им далеким от действительности. У. Крамбейн, М. Кауфмен, Р. Мак-Кеммон (1973) верно указывают, что многие геологи математические символы воспринимают «как незнакомый иностранный язык» и отбрасывают те статьи, где есть математические формулы. Мы не отрицаем при этом значение естественного языка, а подчеркиваем его ограниченность, недостаточность. Ссылки на то, что «Капитал» Маркса и ряд других выдающихся работ были написаны на естественном языке (Вассоевич, Бергер, 1973), вряд ли могут оправдать скептицизм в отношении возможности и необходимости формализации геологических понятий.

Стиль мышления в науке определяется общим уровнем ее развития, глубиной проникновения в сущность изучаемых процессов. Для изменения этого стиля необходимо изменение всей программы подготовки геологов и особенно в области математики.

Определенный скептицизм значительной части геологов к работам по формализации геологических представлений объясняется в частности тем, что многие разделы этой науки нуждаются еще в глубоком содержательном анализе и не созрели для формализации. Как известно, для применения математики в науке необходимо развитие как математики,

так и науки, стремящейся ее использовать. Необходима определенная ясность понятий и четкая постановка проблем, что в науках о Земле не всегда достигнуто. Отделение глазного, существенного от второстепенного, случайного зачастую трудно произвести на том интуитивном, во многом гипотетическом уровне, на котором находятся даже такие основные разделы геологии, как, например, учение о геосинклиналях и платформах.

Наиболее распространенный путь развития научного знания таков: построение содержательной системы, а затем ее формализация. Сами понятия постепенно уточняются и изменяются вместе с развитием науки, совершенствованием ее теоретических представлений. Но сейчас нередко встречается и другой путь, а именно: создание некоторой формальной системы предшествует ее содержательной интерпретации. Формальная система создается в этом случае на основе самых общих содержательных положений. Примером может служить создание неевклидовой геометрии и квантовой механики. Вполне возможно, что такой путь движения познания применим и в науках о Земле.

ЛИТЕРАТУРА

Боровиков А. М. Математизация геологии — ее методик или методологии? — В кн.: Пути познания Земли. М., «Наука», 1971.

Бухникашвили А. В. Некоторые критические замечания по поводу математизации геологии. — «Советская геология», 1972, № 11.

Вассоевич Н. Б., Бергер М. Г. О познании генезиса геологических объектов. — «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1973, № 11.

Дайсон Ф. Дж. Математика в физических науках. — В кн.: Математика в современном мире. М., «Мир», 1967.

Крамбейн У., Кауфман М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов. М., «Мир», 1973.

Леонов Ю. Г., Шолпо В. Н. О некоторых методологических вопросах применения математических методов в геологии. — «Геология и геофизика», 1973, № 4.

Пейве А. В., Страхов Н. М., Яншин А. Л. Некоторые важнейшие задачи в области теоретической геологии. — «Изв. АН ССР. Серия геол.», 1961, № 10.

Поспелов Г. Л. Проблемы метода познания в геологии. — В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., «Наука», 1968.

Сидоренко А. В. Геология и научно-технический прогресс. — «Вестник АН СССР», 1970, № 10.

Thiergartner H. Prognose der Beziehungen zwischen Geologie und Mathematik. — «Ber. Dtsch. Ges. Geol. Wiss.», 1968, N 4.

ОПЫТ ФОРМАЛЬНОЙ СИСТЕМАТИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ И ВЫСКАЗЫВАНИЙ

Ф. А. Усманов

Необходимость формальной систематизации и унификации геологических терминов и высказываний* вызвана развертывающимися работами по созданию информационно-поисковых систем (ИПС) и АСУ в геологии, математической постановкой геологических задач с применением ЭВМ для их решения и т. п. В данной работе сделана попытка построения одного из возможных вариантов формальной систематики терминов и высказываний. При разработке этой систематики учитывались результаты исследований по логической физике (Зиновьев, 1972) и по логико-математическому уточнению геологических понятий (Боровиков и др., 1974; Воронин и др., 1967; Воронин, Еганов, 1972; Гольдин и др., 1970; Косыгин и др., 1964; Косыгин, Воронин, 1965а, б; Косыгин, Соловьев, 1967; Шаралов, 1972).

В качестве исходных положений, истинность которых предполагается очевидной (не подлежащей обоснованию), служили следующие утверждения:

(1). Любой геологический объект в фиксированный момент времени может быть описан (охарактеризован) заданием некоторых частей пространства в пределах Земли и наблюдаемых в них некоторых качественных признаков (свойств), значений или интервалов значений количественных признаков (свойств, величин).

(2). Любой геологический процесс может быть описан заданием некоторых частей пространства в пределах Земли, моментов и интервалов времени, соответствующих им (наблюдаемых, определяемых в них) качественных признаков, значений или интервалов значений количественных признаков.

(3). В каждой точке физического пространства в фиксированный момент времени может наблюдаться только одно значение некоторого количественного признака (величины)**.

* Высказываниями называются «такие предложения, про которые разумно говорить, разумно считать, что они являются истинными или ложными» (Шиханович, 1965, стр. 29).

** В утверждении (3) имеются в виду микрофизические величины (свойства). Для микрофизических величин это утверждение нужно уточнить с учетом соотношения неопределенностей Гейзенберга.

Из утверждений (1) и (2) следует, что в любом описании всякого геологического объекта и процесса присутствуют (явно или неявно) три типа составляющих (элементов): 1) части физического пространства, 2) моменты или интервалы времени, 3) качественные признаки (свойства), значения или интервалы значений количественных признаков (свойств, величин). Эти три типа элементов мы положим в основу разрабатываемой систематики. Следует отметить, что перечисленные выше основные физические понятия являются настолько общими, что не отражают специфику геологии. Поэтому, выбрав их в качестве исходных, нам нужно уточнить специфику их употребления в геологии.

Одно из главных особенностей использования важнейших понятий — «пространство», «время» и «свойство» — в геологии, по нашему мнению, сводится к следующему. В математических моделях, используемых физикой, в качестве элементов (однородных, целостных частей) физического пространства, времени и признакового пространства обычно используются, соответственно, точка или бесконечно малая область физического пространства, момент времени (точка на оси времени) и значение количественного признака (скаляра или компоненты вектора). В геологии же в качестве элементов (однородных, целостных, при данном рассмотрении, частей) физического пространства, времени и признакового пространства, кроме перечисленных выше, широко используются, соответственно, конечная часть физического пространства (например, область пространства, занимаемая однородным при данном рассмотрении геологическим телом), интервал времени (этап, эра, период, возраст и т. п.), интервал значений количественного признака и качественный признак.

Кроме того, мы будем иметь в виду также и другие очевидные особенности геологии по отношению к указанным понятиям. К ним, в частности, относится то, что геологические высказывания охватывают область пространства, ограниченную поверхностью Земли; интервалы времени, исследуемые в геологии, характеризуются большой длительностью; многие построения геологии носят ретроспективный характер; множество исследуемых свойств включает такие качественные и количественные признаки, которые интерпретируются в геологических терминах и т. п.

Рассмотрим некоторые логические следствия, вытекающие из приведенных выше исходных положений. Из исходных по-

ложений (1) и (2) следует истинность следующего утверждения:

(4). Любой термин в геологии включает по значению один из терминов: «часть физического пространства», «момент» или «интервал времени», «качественный признак» (свойство), «значение» или «интервал значений количественного признака» (свойства, величины); или расчленяется на термины (определяется через термины), включающие по значению перечисленные. Основываясь на этом утверждении, можно выделить логические типы геологических терминов по их значению.

(5). Пространственным будем называть термин «часть физического пространства» и любой термин, который по значению включает его (т. е. являющийся по смыслу частью физического пространства). Примерами пространственных терминов являются «точка», «линия», «поверхность», «участок», «район», «территория», «пространственная область, занимаемая геологическим телом» и т. п.

(6). Временными будем называть термины «момент времени», «интервал (отрезок) времени» и любой термин, который по значению включает эти термины (т. е. являющийся по смыслу моментом или интервалом (времени)). Примерами временных терминов являются «этап», «стадия», «период», «эра», «эпоха», «абсолютный возраст» и т. п.

(7). Признаковыми будем называть термины «качественный признак» (свойство), «значение количественного признака» (свойства, величины), «интервал значений количественного признака» и любой термин, который по значению включает их (т. е. который является одноместным предикатом — свойством).

Примерами признаков терминов являются: «имеет изометрическую форму», «содержит кварц», «сложен гранитами», «ровно 2°/о», «ровно 100 м» и т. п. Нужно особо оговорить, что здесь и ниже имеются в виду такие качественные признаки, значения и интервалы значений количественных признаков, которые можно поставить в соответствие частям пространства в пределах Земли, в некоторые моменты или интервалы времени, как характеристики этих частей физического пространства. Среди таких свойств в соответствии с работой Ю. А. Воронина и его соавторов (1967) можно выделить геометрические и вещественные.

Выделенные первые два типа терминов (пространственные и временные) по логической терминологии (Зиновьев,

1972) являются субъектами (терминами обозначающими предметы), третий тип (признаковые) — суть предикаты — свойства (термины обозначающие признаки предметов)*.

Среди терминов, используемых в геологии, можно выделить два типа: 1. — простые (синонимы: исходные, неопределяемые, первичные), 2. — сложные (синонимы: производные, определяемые, вторичные). Примерами терминов первого типа являются: «часть физического пространства», «момент времени», «интервал времени», «признак» («свойство», «величина»), «число», «функция» и т. п., второго — «минерал», «горная порода», «формация», «геологическая структура», «геологическое тело» и т. п.

Сложные геологические термины, вводимые в систему геологических терминов путем определения, можно различать по формальным свойствам их определений, в частности, по формальным типам входящих в их определения терминов (определяющих терминов) и по видам терминообразующих операторов.

Используя определения (5)—(7), утверждение (4) можно переформулировать в следующий вид: любой геологический термин относится к одному из типов: пространственный, временный, признаковый, или может быть определен через термины этих типов**. В соответствии с этим утверждением, среди сложных геологических терминов, по типу определяющих их терминов, выделим следующие виды:

1. Термины, определяемые через пространственные термины (при помощи каких-либо терминообразующих операторов). Примером таких терминов является «геологическая структура», определяемая в соответствии с предложением Воронина и др. (1967), как множество структурных элементов (частей пространства), с заданным на этом множестве пространственным отношением. К этому же типу относятся все термины, которые по значению включают данный термин, т. е. являющиеся названиями геологических структур (тектонических структур, структур пород). Другие примеры: «ниже», «выше» и т. п.;

* Названия типов терминов в этой работе, для облегчения восприятия, подобраны по их значению, поэтому вместо слова «предикаты — свойства» мы применяем — «признаковые термины».

** Союз «или» здесь употреблен в неисключающем смысле, т. е. допускается существование терминов, для которых справедливы и первая и вторая часть этого утверждения.

2. Термины, определяемые через временные термины. Примеры: «относительный возраст», «древнее», «разновозрастное», «моложе» и т. п., определяемые как отношения возрастов;

3. Термины, определяемые через признаковые термины. Примеры: «больше», «меньше», «равно», «неравно» и т. п., определяемые как отношения между значениями количественных признаков; «совпадают», «несовпадают», «сходные», «эквивалентные» и т. п., определяемые как отношения между качественными признаками;

4. Термины, определяемые через пространственные и признаковые термины. В качестве примера можно привести термин «часть планеты Земля» или «часть литосферы Земли» (в смысле — часть материального тела), определив его как «часть пространства в пределах Земли и совокупность наблюдаемых в ней свойств* (качественных признаков, значений или интервалов значений количественных признаков)». Определения многих геологических терминов данного типа («порода», «формация», «геологическое тело» и т. п.) можно представить в следующей форме:

(8). Термином X называется всякая часть планеты Земля, удовлетворяющая условиям (или обладающая свойствами): P_1, P_2, \dots, P_n .

В этом выражении символы X, P_1, P_2, \dots, P_n есть переменные**. Значениями переменной X могут быть различные определяемые термины: «минерал», «порода», «гранит», «формация» (абстрактная), «интрузивное тело», «рудное тело», «платформа», «материк» и т. п. Значениями переменных P_1, P_2, \dots, P_n могут быть различные высказывания или предикаты, которые нужно поставить в (8) вместо P_1, P_2, \dots, P_n для определения соответствующего термина X . Определения, имеющие форму (8), строятся с помощью терминообразующего оператора ограничения, понимаемого в соответствии с работой Зиновьева (1972). Геологический термин (в том числе каждый из перечисленных выше), определению которого можно придать форму (8), означает произвольный элемент (предметное переменное) множества частей литосферы, удовлетворяющих некоторым условиям.

* В понимании А. И. Умова (по Боровикову и др., 1974) совокупность свойств суть — вещь.

** Термин «переменная» здесь употребляется в соответствии с определениями, приведенными в работах Н. И. Кондакова (1971) и Ю. А. Шихановича (1965).

5. Термины, определяемые через пространственные и временные термины. Если исходить из того, что термин «тектоническое движение» можно определить как движение, приводящее к изменению (развитию во времени) тектонических структур, то этот термин относится к данному типу. Сюда же относятся все термины, которые являются названиями различных видов тектонических движений.

6. Термины, определяемые через временные и признаковые термины. Определения многих терминов, относящиеся к данному типу, имеют следующую форму.

(9). Термином называется всякий интервал (отрезок) времени, в течение которого происходили события (процессы) Q_1, Q_2, \dots, Q_n . В этом выражении символы U, Q_1, Q_2, \dots, Q_n суть переменные. Вместо U в (9) можно ставить различные термины, которые определяются по этой форме: «геологическая стадия», «фаза складчатости», «металлогеническая эпоха», «стадия и этап минерализации», «тектоно-магматический цикл» и т. п. Вместо U в выражение (9) нужно ставить названия (или описания) видов процессов (событий), таких, чтобы при этом определился соответствующий термин U . Как видно, выражение (9) формально сходно с выражением (8), по которому определяются такие понятия как порода, формация (абстрактная), геологическое тело и т. п.

7. Термины, определяемые через пространственные, временные и признаковые термины. Примерами терминов этого типа являются термины, обозначающие различные геологические процессы, определяемые как изменение во времени вещественных свойств отдельных частей литосферы, в частности процессы образования осадочных, магматических и метаморфических пород: «осадконакопление», «магматизм», «вулканизм», «рудообразование», «метаморфизм» и т. п.

Следует подчеркнуть, что выделенные выше типы терминов по их значению и по видам определяющих терминов являются независимыми. Например, в высказывании «порода обладает мелкозернистой структурой» термин «мелкозернистая структура» является признаковым термином, определяемым через пространственные термины. Такая систематизация терминов порождается известной многоступенчатостью (иерархией) системы понятий в геологии («порода» определяется через «минерал», «формация» через «породу» и т. п.).

Рассмотрим некоторые вопросы типизации геологических высказываний о геологических объектах и процессах.

При формальной систематизации геологических высказы-

ваний можно использовать изложенную выше систематику геологических терминов, выделяя различные их виды по типам входящих в них терминов. Например, предложение «в рудном теле № 3 среднее содержание свинца равно 2%» является высказыванием, содержащим термин, определяемый через пространственные и признаковые термины («рудное тело») и признаковый термин («равно двум процентам»).

Существует известная установка математической логики, которая гласит: «Простые высказывания выражают, что некоторые объекты (или объект) обладают некоторыми свойствами, или что они находятся между собой в некоторых отношениях» (Калужнин, 1964, стр. 72—73). На основании этой установки и исходных положений (1) и (2) можно сформулировать следующее утверждение.

(10). Простые высказывания в геологии выражают, что а) в некоторой части пространства в пределах Земли, в некоторый момент (интервал) времени наблюдается (определяется по данным наблюдений) некоторый качественный признак (значение или интервал значений количественного признака) или б) некоторые части пространства, моменты (интервалы) времени и наблюдаемые в них качественные признаки (значения или интервалы значений количественных признаков) находятся между собой в каких-нибудь отношениях.

Высказывания этих двух типов мы будем называть, соответственно, простыми геологическими высказываниями о свойствах и об отношениях. Сложные геологические высказывания строятся из простых (указанных двух типов) и из терминов, выделенных выше типов, при помощи логических операций. Из исходных положений (1) и (2) вытекает следующее утверждение.

(11). Любое сложное геологическое высказывание может быть заменено равнозначным ему геологическим высказыванием, составленным только из пространственных, временных и признаковых терминов.

Для примера рассмотрим n -местный предикат: «в породе U содержатся (присутствуют) минералы X_1, X_2, \dots, X_{n-1} », где U — переменная, значениями которой являются (вместо которой ставятся) названия различных пород, а X_1, X_2, \dots, X_{n-1} — переменные, значениями каждого из которых являются названия минералов. Темины «порода» и «минерал» можно расчленить на пространственные и признаковые термины по форме (8) и заменить данный предикат другим, составленным только из пространственных и признаковых терминов.

Простые высказывания о свойствах могут быть представлены в следующей форме.

(12). Части пространства g в пределах Земли в момент (интервал) времени t соответствует (в смысле — наблюдается, присутствует, присутствовал) качественный признак U' (значение U^0 или интервал значений U^1 количественного признака U).

В этом выражении символы g , t , U' , U^0 , U^1 и U условимся считать переменными со следующими названиями и областями значений, g — пространственная переменная. Ее значениями могут быть: точка, отрезок линии, линия, кусок поверхности, поверхность, область трехмерного пространства в пределах Земли, а также любой пространственный термин (т. е. любой термин, который по смыслу суть часть физического пространства — участок, регион, территория, пространственная область, занимаемая геологическим телом и т. п.). t — временная переменная. Ее значениями могут быть: момент времени, интервал времени, а также любой временной термин (т. е. любой термин, который по смыслу суть момент или интервал времени — «стадия», «этап», «период», «эпоха», «эра», «абсолютный возраст» и т. п.). U' , U^0 , U^1 — признаковые переменные, значениями которых могут быть, соответственно, любой качественный признак и какое-либо значение или интервал значений произвольного количественного признака U .

Если в предикате (12) вместо каждой переменной поставим какое-нибудь ее значение (фиксируем ее значение), то получим некоторое высказывание. Исследуем выражения, которые получаются в том случае, когда в предикате (12) фиксируются значения только некоторых переменных. Заметим сначала, что если мы хотим получать из (12) истинные высказывания, то должны учитывать, что в соответствии с исходным положением (3) фиксирование в (12) некоторых значений пространственной и временной переменных однозначно определяет значение признаков переменных (другими словами признаковые переменные являются функциями от пространственной и временной переменных).

Рассмотрим совокупность высказываний, полученную из (12) при одном фиксированном значении пространственной переменной $g=g_1$ и различных значениях временной и признаковой переменных из некоторых их множеств значений: $t=t_1, t_2, \dots, t_k$; $U'=U'_1, U'_2, \dots, U'_n$. Очевидно, эта совокупность высказываний будет соответствовать описанию состоя-

ний некоторой части Земли в моменты (интервалы) времени t_1, t_2, \dots, t_k . Теперь фиксируем в (12) какое-нибудь значение временной переменной, а вместо пространственной и признаковой переменных будем ставить различные значения из некоторых множеств их значений. Мы получим совокупность высказываний, описывающих состояние (свойства) некоторых частей Земли в фиксированный момент (интервал) времени. Если в (12) фиксировать значение признаковой переменной, а вместо пространственной и временной переменных ставить значения из некоторых множеств их значений, то полученная при этом совокупность высказываний будет соответствовать перечислению частей Земли, обладающих в фиксированные моменты (интервалы) времени данным признаком.

Вопросы, рассмотренные выше средствами логики, более строго можно изложить на языке теории множеств.

ЛИТЕРАТУРА

- Боровиков А. М., Воронин Ю. А. и др. Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974.
- Воронин Ю. А., Алабин Б. К., Гольдин С. В. и др. Геология и математика. Н., «Наука», 1967.
- Воронин Ю. А., Еганов Э. А. Фации и формации. Парагенезис. Н., «Наука», 1972.
- Гольдин Ю. А., Волков А. М., Гольдина Н. А. Аксиоматическая классификация залежей нефти и газа и ее применение для описания месторождений Тюменской области. — «Тр. ЗапСибНИГНИ». М., «Недра», 1970, вып. 29.
- Зиновьев А. А. Логическая физика. М., «Наука», 1972.
- Калужнин Л. А. Что такое математическая логика. М., «Наука», 1964.
- Кондаков Н. И. Логический словарь. М., «Наука», 1971.
- Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А., Соловьев В. А. Опыт формализации некоторых тектонических понятий. — «Геология и геофизика», 1964, № 1.
- Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А. Некоторые фундаментальные понятия структурной геологии. — «Геотектоника», 1965а, № 1.
- Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А. Геологическое пространство как основа структурных построений. — «Геология и геофизика», 1965б, № 9—11.
- Косыгин Ю. А., Соловьев В. А. Проблема усовершенствования геологического языка и «математизация» геологии. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1967, № 11.
- Шарапов И. П. Методические проблемы геологии (о метагеологии). — «Геология и геофизика», 1972, № 11.
- Шиханович Ю. А. Введение в современную математику. М., «Наука», 1965.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ ИЕРАРХИИ В ПЛАНЕТАРНЫХ РАВНОУДАЛЕННЫХ РАЗРЫВНЫХ СИСТЕМАХ

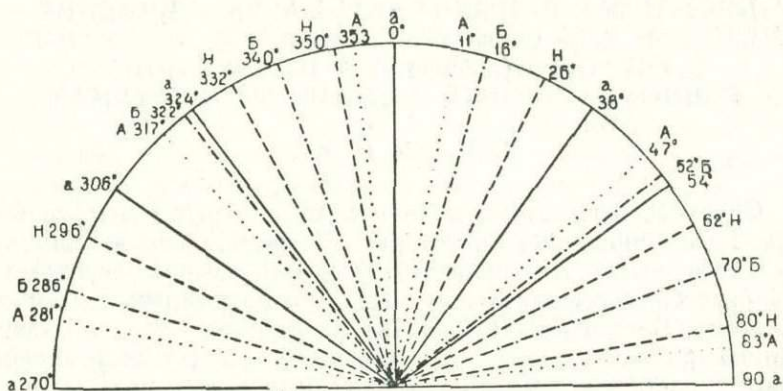
В. Немец, Р. Квет

Около 1970 г. авторы начали отдельно друг от друга заниматься обобщением некоторых сведений, вытекающих из их исследований. В. Немец (1972) строил теорию регулярных геологических параллельных линий в разрывных системах. Р. Квет (Kvet, 1970, 1972, 1974) разработал теорию планетарных равноудаленных разрывных систем (ПРРС) и их связи с распределением источников углекислых вод.

ПРРС были определены как периодически формирующиеся сети трещинных зон и приуроченных к ним разломов, образовавшихся в периоды после кульминации главных орогенезов. Все сети едины по генезису и характеризуются геометрическим совпадением. Основные линии (выведенные эмпирическим путем) во время образования отличаются направлениями 90 , 54 и 306° и перпендикулярными к ним направлениями, т. е. 0 , 324 и 36° . За счет миграции полюсов и перемещения континентов отдельные сети смещены. Только меридиональная линия альпийской сети совпадает по ориентировке с современным географическим меридианом: варисийская сеть в Европе смещена на угол 26° , ассинтическая на 47° и безымянная сеть неизвестного периода образования (открытая на территории Моравы в ЧССР) на 16° (рис. 1).

В литературе высказано мнение об унаследованности направлений более древних систем фундамента системами осадочного выполнения бассейнов. Детальный анализ сложных разломов показал, что они наследуют несколько направлений одной или нескольких сетей. С этим связано также оживление проходящих по самым древним направлениям разломов в течение последующих орогенических эпох.

Для детального изучения необходимо исследовать простирания разломов и трещинных зон и установить направления их линейных участков с точностью до 1° . Средние величины простираний, подсчитанные по массовым данным, не позволяют провести более точного анализа ПРРС. Все первичные данные должны быть доступны для позднейшей интерпрета-



Р и с. 1. Сети планетарных равноудаленных разрывных систем, а — сеть альпийская, Н — сеть варисийская, А — сеть ассинтская, Б — сеть безымянная

ции. Не следует произвольно соединять различные направления в единые усредненные системы.

Иерархия разрывных систем на основе равноудаленности

Для трещинных зон и ПРРС характерны равные расстояния между параллельными линиями или зонами разломов. Принцип равноудаленности был известен почти 100 лет тому назад (Daubrée, 1879) и его применяли в эмпирическом виде для решения некоторых практических задач, а именно: поисков новых месторождений (Kutina, 1968).

В. Немец (Nemes, 1970) разработал иерархию равноудаленности и связанных с ней геологических структур и тел в зависимости от диаметра Земли. Основные расстояния в иерархической последовательности определяются по формуле:

$$У x = 2^{-x} D,$$

где x — порядок структуры; $У$ — расстояние между структурами одного порядка; D — постоянная (диаметр Земли).

В таблице приведены расстояния 60 порядков для Земли. Если в качестве постоянной взять диаметр Луны, Марса и других планет, то получатся расстояния, характерные для этих планетных тел. Некоторые авторы также пришли к выводам об аналогиях тектонических структур Земли и других

планет (Воск, 1968). Можно говорить об универсальном характере ПРРС для всех планет. К близким выводам пришли В. В. Богацкий (1972), В. И. Васильев (1972), писавшие о дискретности и периодичности геологических структур. Установить взаимоотношения отдельных разрывных систем сложно прежде всего из-за неудовлетворительного состояния множества приводимых в литературе данных. Для многих систем разломов приводятся лишь усредненные характеристики. Первичные данные остаются неизвестными.

Можно предположить, что любая точка на поверхности планеты (даже в глубинах ее коры) детерминирована связью с отдельными ПРРС, которые, конечно, проявляются с различной интенсивностью.

Замечания к обоснованию математических методов в геологии

Ю. А. Косыгин (1974) пишет: «Применение любых методов, даже самых совершенных, может давать как верный, так и неверный результат, зависящий не от метода самого по себе, а от соответствия математической структуры аппарата, лежащего в его основе, структуре изучаемого объекта» (стр. 10).

По мнению авторов, настала пора проверить соответствие математической структуры аппарата, который применяется в области геологии, структуре ПРРС. До сих пор в повседневную практику внедряется такой математический аппарат, который позволяет успешно решать некоторые частные задачи. Но применение его для решения других задач может оказаться вредным, хотя на первый взгляд результаты осуществленных подсчетов и выглядят удовлетворительными.

Одна из самых распространенных математических операций в области обработки геологических данных — интерполяция. Имея в виду дискретный характер многих геологических явлений, связанных с ПРРС (вулканизм, землетрясения, гидротермальные месторождения, трещинные зоны, углекислые и минеральные воды и т. п.), необходимо проверить прежде всего способы интерполяции. На рис. 2 схематически изображена интенсивность явлений между линиями самых высших порядков, принадлежащих одной ПРРС, на рис. 3 — результаты опробования на одном участке рудного месторождения (Букринский, 1965). Структуры, рассчитанные теоретически и полученные в результате наблюдения, кажутся близкими. Конечно, в практическом примере возможно влияние нескольких систем.

Равноудаленные расстояния по определенным порядкам

Гипершкала		Мегашкала		Макрошкала		Микрошкала		Наношкала		Пикошкала	
порядок	км	порядок	м	порядок	см	порядок	мм	порядок	мк	порядок	А
1	6377,000	11	6227,539	21	6,082	31	5,939	41	5,800	51	56,600
2	3188,500	12	3113,770	22	3,041	32	2,970	42	2,900	52	28,300
3	1594,250	13	1556,885	23	1,520	33	1,485	43	1,450	53	14,150
4	797,125	14	778,442	24	0,760	34	0,742	44	0,725	54	7,075
5	398,562	15	389,221	25	0,380	35	0,371	45	0,362	55	3,538
6	199,281	16	194,611	26	0,190	36	0,186	46	0,181	56	1,769
7	99,641	17	97,305	27	0,095	37	0,093	47	0,090	57	0,884
8	49,820	18	48,653	28	0,048	38	0,046	48	0,045	58	0,442
9	24,910	19	24,326	29	0,024	39	0,023	49	0,023	59	0,221
10	12,455	20	12,163	30	0,012	40	0,012	50	0,012	60	0,110

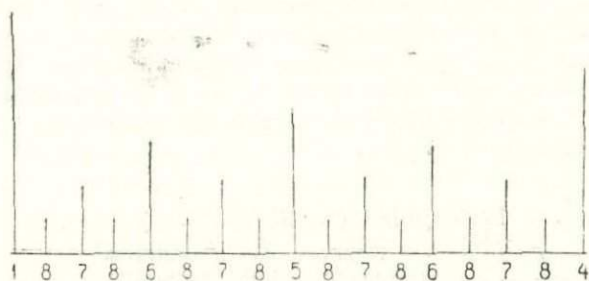


Рис. 2. Схематическое представление интенсивности явлений, принадлежащих одной ПРРС

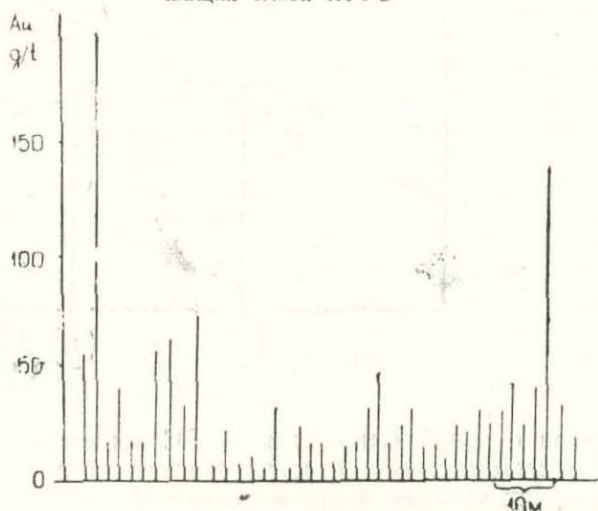
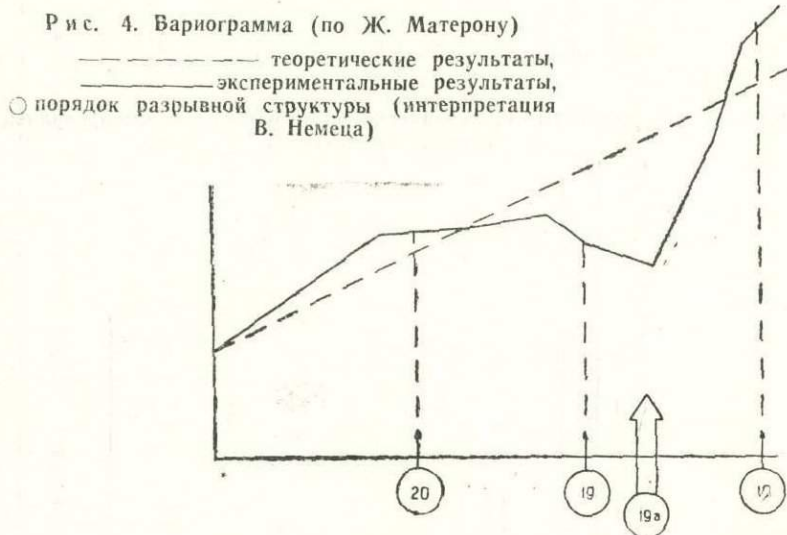


Рис. 3. Результаты опробования на участке рудного месторождения (по О. А. Букринскому)

Результаты изучения ПРРС позволяют объяснить богатые пробы. Обыкновенно их называют ураганными, но они имеют также закономерный характер. Необходимо найти такой математический аппарат, который хорошо выразит эту закономерность. Линейная интерполяция или тренд-анализ на основе полиномов здесь не дают удовлетворительных результатов. Более пригодным кажется применение рядов Фурье, способных учитывать периодичность изучаемых явлений. Теоретическая вариограмма, разработанная Ж. Матероном (1968), также сглаживает дискретный характер изучаемых явлений.

Графики, построенные по данным наблюдений, выявляют периодические аномалии (рис. 4). Не удивительно, что аномалии на примерах расположены приблизительно через равные интервалы, отвечающие вышеупомянутой формуле, так как данные для вариограмм часто ориентированы перпендикулярно определенной ПРРС.



В связи с новой концепцией ПРРС встает вопрос о возможности математически строгого достоверного предсказания геологических явлений в пространстве. В сущности, это проблемы детерминированного подхода к решению геологических задач с помощью математических методов. По мнению авторов, этот подход является возможным, но с некоторыми ограничениями. Решение задачи связано с уровнями организации изучаемых явлений. Согласно рабочей гипотезе В. Немца, каждой линии определенного порядка, принадлежащей любой ПРРС, свойственна зона влияния, ширина которой равна расстоянию низшего порядка. Имеющийся материал позволяет найти не точные координаты линий или пунктов, а границы зон или областей (на перекрестках зон) — где можно ожидать появления изучаемых явлений. Более тщательный анализ, вероятно, приведет к уменьшению площади предсказываемых зон или областей. На основе упомянутой гипотезы

не является утопией построение геологически обоснованной теории поисков, позволяющей открывать месторождения прежде всего по результатам математического анализа и структурной модели региона, а не по случайно размещенным поисковым выработкам.

Практическое значение ПРРС в теории поисков кажется огромным. Приведем маленький пример. Прямую можно построить или по двум точкам, или по одной точке и направлению; в таком случае знание направления ведет к экономии точек на 50%. В геологических поисках и разведке знание направления и равноудаленных расстояний поможет сократить объем работ. Из ПРРС вытекают также практические ограничения и рекомендации: расстояния в сети поисковых и разведочных работ должны не совпадать с расстояниями, указанными в таблице. Полное совпадение разведочной сети с изучаемыми геологическими явлениями периодического характера может привести к искажениям результатов (например, преувеличению роли богатых или бедных проб). Дальнейшая разработка теории ПРРС и ее практического применения может привести к выводу о том, что при существующем применении математических методов в геологии преувеличивается значение проблем статистического распределения. Уже давно показано, что статистическое распределение во многих случаях не так важно, как пространственное. Но в этой области также можно разработать модели теоретического пространственного распределения и далее проверить соответствие реальных данных модельным представлениям.

Заключение

Из иерархии ПРРС вытекает применимость некоторого подходящего математического аппарата к решению задач на различных уровнях — от глубинных исследований до детальной разведки и добычи полезных ископаемых. Таким образом, новая теория поисков, созданная на основе геологического познания и математического аппарата подходящей структуры, должна быть применимой к решению вопросов на всех уровнях организации геологических структур и тел.

ЛИТЕРАТУРА

Богацкий В. В. Геологические структуры как ареалы реализации силовых полей (кинематическая модель региональных структур). — В кн.: Внутренняя геодинамика. Л., 1972, т. I.

Букринский В. А. Практический курс геометрии недр. М., «Недра», 1965.

Васильев В. И. О структурных основах квантовой геодинамики. — В кн.: Внутренняя геодинамика. Л., 1972, т. I.

Косыгин Ю. А. Основные направления тектонических исследований. — В кн.: Тектоника и геофизика. Хабаровск, 1974.

Матерон Ж. Основы прикладной геотектоники. М., «Мир», 1968.

Немец В. Регулярность геологических структур — математическая геология — геодинамика. — В кн.: Внутренняя геодинамика. Л., 1972, т. I.

Вгоск В. В. Crustal patterns related to the sphericity of heavenly bodies or structural mosaic hierarchies on Mars, Earth and Moon. — 23. Int. Geol. Congress, v. 13, Academia, Praha, 1968.

Daubrée A. Etudes synthétiques de géologie expérimentale. — Dunod, Paris, 2 vol., 1879.

Kutiņa J. On the application of the principle of equidistances in the search for ore veins. — 23. Int. Geol. Congress, vol. 7, Academia, Praha, 1968.

Kvet R. Príspevek k vyskytu ceskoslovenských uhlicitých vod a jejich sepeti se systému puklin a hlubokých zlomu. — Geol. práce, Spr. Bratislava, 53, 1970.

Kvet R. K problematice systému publinových zón. — Geol. Průzkum, Praha, 14, 4, 1972.

Kvet R. Klüftzonen und planetare Äquidistanz—Störungssysteme. — Z. geol. Wiss., Berlin, 2, 5, 1974.

Nemec V. The law of regular structural pattern: its applications with special regard to mathematical geology. — In: Geostatistics, a colloquium (ed. D. F. Merriam), Plenum, New-York—London, 1970.

ОСНОВНАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ И ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОРРЕЛЯЦИИ

И. Н. Ньюберг, Ю. С. Салин

Зачем нужны модели

Любая естественнонаучная теория основана на законах, выводимых из эмпирии. В то же время непосредственно наблюдаемые данные обычно не позволяют сформулировать какой-либо закон. Достаточно очевидно, например, что закон инерции Галилея или Ньютона не выводится из наблюдений.

Скорее наоборот, наблюдения свидетельствуют о том, что любое тело стремится к состоянию покоя, т. е. приводят к основному закону динамики Аристотеля (Баженов, 1973). Вспомним великого мыслителя Фридриха Крауса фон Циллергута: «Когда весь бензин вышел, автомобиль принужден был остановиться... И после этого еще болтают об инерции...» (Гашек, 1958, стр. 210). Общеизвестно, что современные данные о движении планет не дают возможности вывести кеплеровские законы небесной механики. И законы Кеплера, и законы механики Галилея—Ньютона можно вывести из эмпирии только с использованием некоторой модели. Действительность, взятая «в чистом виде», обычно настолько сложна, хаотична и неупорядочена, что для построения теории ее приходится подвергать упрощению, схематизации, идеализации.

Наиболее отчетливо устанавливается этот процесс идеализации в «мысленном эксперименте» Галилея. Из наблюдений можно вывести: чем более гладкими будут шар и наклонная плоскость, тем с более устойчивым ускорением шар будет катиться вниз по плоскости. Кроме того, при движении в разных средах (масло, вода, воздух) помехи при движении одного и того же шара по одной и той же плоскости будут различными. Можно экстраполировать эту тенденцию до предельно мыслимого конца: представить себе идеально гладкий шар, идеально гладкую плоскость, совершенно не сопротивляющуюся среду. В этих идеальных условиях и осуществляется мысленный эксперимент Галилея: движение шара вниз по плоскости будет ускоряться, движение вверх по плоскости — замедляться, тогда естественным оказывается вывод, что при горизонтальном положении плоскости не будет ни замедления, ни ускорения, то есть движение останется равномерным.

Хотя в действительности тела не подчиняются закону инерции, это не мешает нам признавать его не имеющим исключений: любую реальную ситуацию мы раскладываем на две части — движение в соответствии с законом и отклонения от него. Для отклонений далее находятся причины: трение, сопротивление среды и т. д. Аналогично и в небесной механике: когда на основе кеплеровской кинематики и допущения о притяжении планет Солнцем Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения, отклонения от кеплеровских орбит могли рассматриваться как опровержения закона. Такие отклонения были впоследствии найдены, для «спасения» закона *ad hoc* были выдвинуты гипотезы о возмущающем воздействии других масс. Некоторые возмущающие массы были найдены, дру-

гие — нет. Отклонение орбиты Меркурия оставалось необъясненным вплоть до построения общей теории относительности, но это, естественно, не привело к отказу от закона всемирного тяготения. Модель, в которой он оставался всегда справедливым, по-прежнему использовалась и по-прежнему приносила многочисленные практические результаты.

Решающим моментом при оценке любой модели оказывается ее способность давать подтверждаемые наблюдением, практически важные предсказания, решать практические задачи. В этом случае для объяснения отклонения от модели можно построить дополнительные, вспомогательные модели. Понятно, что отклонения должны быть относительно небольшими, первичная модель должна давать надежный каркас для навешивания на нее всевозможных дополнений.

Корреляция

Модели, разрабатываемые в стратиграфии, должны позволять решать стратиграфические задачи. Сформулируем модель, пригодную для решения основной задачи стратиграфии — корреляции. Рассмотрим существо задачи.

По мнению Ю. А. Воронина и его соавторов (1971), корреляция решает вопрос, принадлежат ли два одномерных тела разных разрезов к одному и тому же двумерному (трехмерному) геологическому телу, или они принадлежат разным двумерным (трехмерным) телам, одно из которых лежит выше другого. Мы назвали такую операцию идентификацией.

Принадлежность к одному и тому же геологическому телу определена (Салин, 1974) как топологическая связность, т. е. возможность соединить идентифицируемые тела непрерывной линией, каждая точка которой принадлежит данному телу. Отношение «выше» для двух тел определено через отношения принадлежащих им точек. Точка *a* считается лежащей стратиграфически выше *b*, если обе они лежат на одной вертикали (линии отвеса) и отметка *a* больше *b*. Если все точки тела *A* во всех вертикальных разрезах, где оба тела встречены совместно, лежат выше точек тела *B*, то тело *A* стратиграфически выше *B*. Тела, для которых выполняется отношение «выше», названы стратифицируемыми друг относительно друга. Тело при этом определено как часть пространства, обладающая свойствами одного класса принятой фиксированной классификации, следовательно, для соединения разных одномерных тел в одно и то же двумерное необходимо, чтобы они обла-

дали свойствами одного и того же класса. Если тел, обладающих свойствами требуемого класса, с которыми можно объединить анализируемое тело, в другом разрезе много, возникает множественность решения задачи корреляции.

Например, в одном разрезе есть некоторый пласт песчаника, а в сопоставляемом с ним разрезе таких же песчаниковых пластов, скажем, десять. Мы можем объединить наш пласт в одно непрерывное тело с первым из них, со вторым, с третьим и т. д. Для сокращения множественности вариантов корреляции введем новые понятия (Салин, 1974).

Пусть есть два признака α и β . Если во всех вертикальных разрезах, где они встречены совместно, все точки, обладающие признаком α , залегают выше любой из точек, обладающих признаком β , то признаки α и β названы стратифицирующими друг относительно друга. Множество признаков, каждый из которых является стратифицирующим относительно любого другого, получило название системы стратифицирующих признаков. Если по одному и тому же исходному фактическому материалу можно построить несколько разных систем, для выбора единственной предложен критерий — максимальная географическая распространенность и минимальный стратиграфический диапазон входящих в эту систему признаков. Формальный показатель этих характеристик — максимальная сумма отношений порядка по всем строкам квадратной матрицы, соответствующим признакам системы. Выбранная единственная система названа сводной шкалой (шкалой *s. str.* по Ч. Б. Борукаеву, 1972, шкалой-инструментом по Л. Л. Халфину, 1960).

Сводная шкала используется для сокращения вариантов корреляции. Принимается условие (1): если тело А в разрезе I залегает выше (ниже) стратифицирующего признака α сводной шкалы, то и идентифицируемое с ним тело В в разрезе II должно залегать выше (ниже) α (если все точки, принадлежащие телу А, в разрезе I залегают выше (ниже) любой точки, обладающей стратифицирующим признаком α сводной шкалы, то и все точки тела В в разрезе II, идентифицируемого с телом А, должны залегать выше (ниже) точек, обладающих признаком α).

Модель корреляции

Таково существо задачи корреляции. История математики показывает, что бывают задачи, вообще не имеющие решения.

Естественно желание убедиться в том, что наша задача к ним не относится.

Решением задачи, в соответствии с Д. Пойа (1970), будем считать новый объект, появляющийся в процессе решения как результат этого процесса. В нашем случае решением задачи корреляции будет двумерное (или трехмерное) тело, непрерывно распространяющееся от разреза I к разрезу II; частями этого тела являются коррелируемые одномерные тела A и B. Для каждого ли одномерного тела A разреза I найдется двумерное тело, непрерывно протягивающееся до какого-нибудь одномерного тела разреза II, не приведет ли такое предположение к противоречиям?

Например, в задаче извлечения корня квадратного из двух предположение о существовании решения в рациональных числах приводит к противоречию с теоремой Пифагора. Если мы не собираемся отказываться от теоремы Пифагора, то вынуждены допускать, что корня квадратного из двух не существует в виде числа, которое может быть представлено конечной дробью. Для того, чтобы сделать решение задачи извлечения квадратного корня существующим всегда, приходится расширять понятие «число», вводить новое понятие «иррациональное число».

В такой же ситуации мы оказываемся и в стратиграфии. Допустим, ниже стратифицирующего признака α сводной шкалы в разрезе I имеются два тела, а в разрезе II — три тела. Если принять условие (2), что одно тело одного разреза можно объединять только с одним телом другого, то какое-то из тел разреза II не найдет себе пары в разрезе I, решения задачи корреляции для этого тела не будет существовать.

Чтобы сделать решение задачи корреляции существующим всегда, введем новое понятие мнимого решения. Пополнение множества решений мнимыми будет аналогично пополнению числовой оси иррациональными числами. Будем говорить, что (3) двумерное тело, соединяющее любое анализируемое одномерное тело A разреза I с каким-либо телом B разреза II, существует всегда, но оно может соединять A с B, находящимся на продолжении разреза II.

Именно это имеет в виду геолог, когда говорит, что скважина II еще не добурена до известнякового пласта B, что B лежит на продолжении этой скважины (рис. 1).

Точно так же B может находиться на верхнем продолжении разреза II (рис. 2).

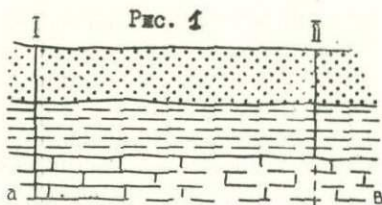


Рис. 2

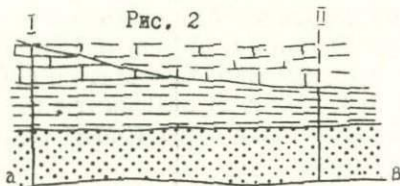


Рис. 3

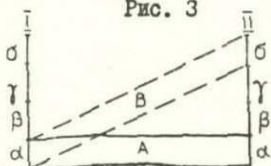


Рис. 4

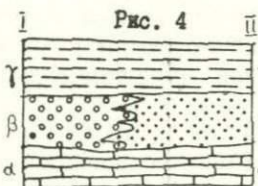


Рис. 5

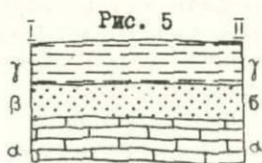


Рис. 6

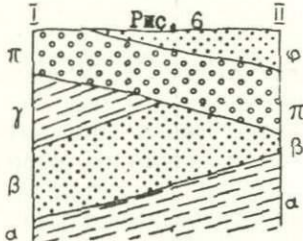
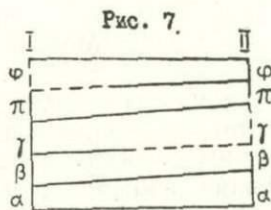


Рис. 7.



Но вот что плохо в полученной ситуации: хотя теперь ничто не противоречит допущению о существовании объекта-решения, мы, во-первых, не знаем, единственный ли объект является решением или таких объектов много и, во-вторых, не знаем, как этот объект или объекты найти (объект-решение не определен процедурой решения).

Примем еще одно условие (4): каждое двумерное тело в любом разрезе содержит по одному стратифицирующему признаку принятой сводной шкалы, причем одно и то же тело — один и тот же, разные тела — разные признаки. Из этого следует, между прочим, что все тела в принятой модели являются стратифицируемыми друг относительно друга.

Принятие условия о наличии стратифицирующих признаков в каждом теле практически идентично доказательству единственности решения задачи корреляции. Действительно, представим два разреза (рис. 3).

Одно из решений — соединение одномерного тела I разреза, содержащего признак α , в одно двумерное тело А с одномерным телом разреза II, содержащим такой же признак α . Допустим, существует другое решение. Анализируемое тело соединим с другим телом разреза II в двумерное тело В. Другое тело в разрезе II, по условию, должно содержать и другой стратифицирующий признак. Тогда тело В содержит одновременно признаки α и σ , чего не может быть (опять-таки по условию).

Все четыре условия в совокупности позволяют не только утверждать, что двумерное тело — решение задачи — всегда имеется, и не только что оно единственно, но и позволяют установить, какое именно тело является решением задачи. Другими словами, интересующий нас объект — решение задачи — полностью задается принятыми условиями. Для любой пары или для любого множества разрезов, построенных в соответствии с данными условиями, мы всегда построим однозначную схему корреляции.

Модель и действительность

Попробуем наглядно представить полученное и выяснить соответствие действительности и модели, заданной перечисленными условиями.

Между любыми двумя мыслимыми разрезами в этой модели тянутся непрерывные слои, причем в одинаковом порядке друг по отношению к другу. Модель обнаруживает неожиданное сходство с представленной Вернером схемой, согласно которой «...по всему пространству земного шара те же непрерывные слои лежат один на другом в правильном порядке наподобие лепестков луковицы...» (Спенсер, 1866, стр. 292). Слои при этом могут как угодно изгибаться (но не до вертикали, иначе стратифицирующие признаки перестанут быть таковыми), могут раздуваться и сокращаться в мощности (но не до нуля, иначе они перестанут быть непрерывными).

В этой модели не находят себе места ни разломы, нарушающие непрерывность слоев, ни опрокинутые залегания, ни линзы и выклинивания, ни фациальные замещения, ни прерывания распространения слоев проливами, речными долинами,

другими отрицательными формами земной поверхности, ни размывы и несогласия. Иначе говоря, чтобы модель работала, необходимы идеальные условия, этого на самом деле не бывает, следовательно, модель неприменима к действительности, — заключит геолог. И ошибется. Условий, в которых соблюдается закон инерции, тоже не бывает в действительности — никому еще не удавалось изготовить идеально гладкие шары и идеально гладкие плоскости, и поместить их к тому же в абсолютно несопротивляющуюся среду, и все-таки закон инерции считается приложимым к действительности.

Начнем с того, что требуемые идеальные условия в геологии встречаются — есть такие участки в платформенных отложениях, где и пласты тянутся без выклиниваний, и разломов нет, и опрокинутых залеганий — тоже. Но это утешение очень слабое. Какую-то сферу применимости модели при этом можно найти, но уж никак модель не будет играть роль основной в стратиграфии.

Когда ретроспективно оцениваешь эволюцию геологии, видишь, что геологи пошли по другому пути. Если нет соответствия модели и действительности, геолог добивается его, подтягивая действительность до модели, деформируя действительность (но не модель!).

Если непрерывность слоев нарушена разломами, если слои разобщены долинами, проливами, геолог все равно соединяет их в процессе корреляции, называя при этом «первично непрерывными», «непрерывными в процессе формирования». «Стратиграфия восстанавливает только первичные соотношения тел, отвлекаясь от вторичных нарушений», — обычно говорят в таких случаях геологи. Другими словами, стратиграфия свое дело сделала, построила основную модель, а несоответствия с ней — это отклонения от модели, как трение, сопротивление среды в механике. Для дальнейших приближений пусть разрабатывают свои модели с учетом разломов и размывов структурная геология, тектоника, геологическое картирование. Основной продукт стратиграфии — сводная шкала геологических тел (Воронин и др., 1971, 1972; Стратиграфия и математика, 1974), сводная шкала — модель (Сokolov, 1971), сводная шкала s. I. (Борукаев, 1972) — схема сопоставления, где все скоррелированные тела принимаются непрерывными.

Труднее доказать, что в реальной практической работе геолог всегда выполняет и другое требование модели — чтобы в каждом теле содержалось по одному стратифицирующему

щему признаку. В самом деле, далеко не каждое тело, выделенное по литологическим свойствам в конкретном разрезе, содержит такие признаки, и требование кажется слишком жестким, даже невыполнимым. Но это только кажется. Практически геолог меняет список свойств, классификацию, по которой выделяются тела, и в результате выделяет в разрезах такие тела, которые можно проследить от разреза к разрезу. Таковы требования к выделению свит в советской стратиграфии, требования к выделению *map unit* (картируемых единиц) — в американской стратиграфии. Можно назвать такую процедуру расчленением, предопределенным возможностями корреляции. Чем беднее возможности корреляции, тем более мощными подразделениями приходится оперировать. В юрско-меловых платформенных толщах бореальной провинции, богатых аммонитами, белемнитами, иноцерамами и ауцеллами, выделяются подразделения мощностью до 10 м, а в эвгеосинклинальных вулканогенных немых отложениях Севера приходится оперировать свитами километровых мощностей. Возможности корреляции определяются наличием стратифицирующих признаков. Когда тело не содержит ни одного стратифицирующего признака, его невозможно и проследить. Другими словами, и в этом случае действительность подгоняется под модель. Деформируется методика расчленения конкретных разрезов таким образом, чтобы построенная карта соответствовала модели Вернера, и каждая выделенная свита, толща содержала один стратифицирующий признак, определяющий одинаковый порядок для одинаковых слоев в последовательности луковичных лепестков.

Как можно видеть, значение вернеровской модели «луковичных лепестков» в геологии огромно. Геолог воспринимает действительность сквозь призму модели Вернера, так же как физик механическое движение — сквозь призму закона инерции. Если физик обнаруживает несоответствие движения закону инерции, он начинает искать причины, — неучтенное ранее сопротивление среды, магнитное притяжение и т. д. Закон инерции при таком подходе получается неопровержимым даже в принципе.

Так же и в геологии. Обнаружились нарушения непрерывности, — геолог строит предположения о разломах, размывах. Обнаружил неодинаковый порядок одних и тех же тел, — значит, они выделены неправильно, по «неправильным» признакам, или к одному и тому же телу отнесены части, «на самом деле» принадлежащие разным телам, и т. д.

Усложнения первоначальной модели

Для многих целей первоначальная модель Вернера оказывается достаточной, например, для некоторых стратиграфических, палеогеографических построений, для многих тектонических; мелкомасштабных геологических карт и др. Но в других случаях оказывается необходимым пополнять исходную модель новой информацией.

Фации. Модель Вернера была модифицирована в прошлом веке усилиями А. Грессли, предложившего понятие ф а ц и й. Суть идеи Грессли такова.

Допустим, имеются два разреза (рис. 4). Две пары одномерных тел (содержащих стратифицирующие признаки α и γ) могут быть объединены в соответствии с требованиями модели Вернера. Третья пара тел (с признаком β) не может быть объединена в двумерное тело, так как это противоречило бы определению тела (область пространства, обладающая свойствами одного и того же класса фиксированной классификации). Данные одномерные тела обладают свойствами разных классов — одно из них песчаникового, другое конгломератового состава.

Ситуация, аналогичная изображенной, не поддается приближению моделью Вернера. Конечно, можно попытаться изменить классификацию таким образом, чтобы подогнать ситуацию под модель. Но бывают случаи, когда это либо недостижимо, либо нецелесообразно. Часто классификация, по которой выделены тела, задана; в практической задаче нас, например, интересует распределение в пространстве песчаников, поведение границ песчаниковых пластов. Приходится вносить изменения в модель.

Модель Грессли отличается от вернеровской другим определением тела — тело в модели Грессли может не обладать свойствами одного и того же класса заданной фиксированной классификации. Оно должно лишь вести себя в соответствии с четырьмя условиями вернеровской модели. Во избежание терминологической путаницы тела модели Грессли лучше называть стратиграфическими подразделениями. Это не противоречит сложившейся языковой практике. Термин «тело» будет в дальнейшем использоваться в своем первоначальном смысле.

Необходимость введения подобных изменений в модель геолог обосновывает примерно таким образом: пусть тела не тянутся непрерывно между разрезами, зато тянутся страти-

графические подразделения, к которым они приурочены; но нам и надо построить не литологическую, а геологическую карту, т. е. карту распределения в трехмерном пространстве стратиграфических подразделений. Просто волосы дыбом становятся, когда видишь, на какие насилия над действительностью идет геолог, лишь бы подогнуть ее к модели Вернера, модели слоев наподобие луковичных лепестков, в одинаковом порядке непрерывно огибающих земной шар. Ведь стратиграфические подразделения, иногда даже путем административного нажима, стремятся протянуть через весь земной шар. А насчет одинакового их порядка не стоит и упоминать — они потому и стратиграфические, что сохраняют одинаковый порядок по отношению к другим подразделениям.

Если стратиграфическое подразделение в разных разрезах представлено разными телами, то такие тела принято называть фациями. Именно таково, в трактовке Н. С. Шатского (1965), первоначальное значение термина «фация»: «Я думаю, что и породы, и отложения, и формации могут быть фациями, если они рассматриваются в сравнении по определенным стратиграфическим горизонтам» (стр. 231).

Стратиграфическая эквивалентность. Требование наличия одних и тех же признаков в одном из том же двумерном теле модели Вернера очень жестко и часто невыполнимо. Чтобы ослабить его, изменим формулировку условия (4): каждое двумерное тело в любом разрезе содержит по одному стратифицирующему признаку принятой сводной шкалы, причем одно и то же тело — один и тот же или разные, но стратиграфически эквивалентные признаки, разные тела — стратиграфически неэквивалентные признаки. Стратиграфическая эквивалентность понимается в определении Ю. С. Салина (1974). Для модели Грессли «тело» в предложенной формулировке должно быть заменено «стратиграфическим подразделением». Проиллюстрируем полученную модель (рис. 5).

Несогласия. Поверхности тел в вернеровской модели или стратиграфических подразделений в модели Грессли не могут соприкоснуться друг с другом: соприкосновение означало бы выпадение тела, заключенного между поверхностями, а это противоречит условию (3) модели Вернера. Если границы между «вернеровскими» телами назвать согласными, как это и принято в геологической практике, то любую поверхность, соприкасающуюся с одной или несколькими согласными поверхностями и ограничивающую фрагмент «вернеровского» пространства, можно назвать несогласной поверхностью.

графические подразделения, к которым они приурочены; но нам и надо построить не литологическую, а геологическую карту, т. е. карту распределения в трехмерном пространстве стратиграфических подразделений. Просто волосы дыбом становятся, когда видишь, на какие насилия над действительностью идет геолог, лишь бы подогнуть ее к модели Вернера, модели слоев наподобие луковичных лепестков, в одинаковом порядке непрерывно огибающих земной шар. Ведь стратиграфические подразделения, иногда даже путем административного нажима, стремятся протянуть через весь земной шар. А насчет одинакового их порядка не стоит и упоминать — они потому и стратиграфические, что сохраняют одинаковый порядок по отношению к другим подразделениям.

Если стратиграфическое подразделение в разных разрезах представлено разными телами, то такие тела принято называть фациями. Именно таково, в трактовке Н. С. Шатского (1965), первоначальное значение термина «фация»: «Я думаю, что и породы, и отложения, и формации могут быть фациями, если они рассматриваются в сравнении по определенным стратиграфическим горизонтам» (стр. 231).

Стратиграфическая эквивалентность. Требование наличия одних и тех же признаков в одном из том же двумерном теле модели Вернера очень жестко и часто невыполнимо. Чтобы ослабить его, изменим формулировку условия (4): каждое двумерное тело в любом разрезе содержит по одному стратифицирующему признаку принятой сводной шкалы, причем одно и то же тело — один и тот же или разные, но стратиграфически эквивалентные признаки, разные тела — стратиграфически неэквивалентные признаки. Стратиграфическая эквивалентность понимается в определении Ю. С. Салина (1974). Для модели Грессли «тело» в предложенной формулировке должно быть заменено «стратиграфическим подразделением». Проиллюстрируем полученную модель (рис. 5).

Несогласия. Поверхности тел в вернеровской модели или стратиграфических подразделений в модели Грессли не могут соприкасаться друг с другом: соприкосновение означало бы выпадение тела, заключенного между поверхностями, а это противоречит условию (3) модели Вернера. Если границы между «вернеровскими» телами назвать согласными, как это и принято в геологической практике, то любую поверхность, соприкасающуюся с одной или несколькими согласными поверхностями и ограничивающую фрагмент «вернеровского» пространства, можно назвать несогласной поверхностью.

Другое традиционное название таких объектов — поверхности несогласия, вторичные границы, секущие границы. Легко видеть, что под такое определение подпадают любые разломы, поверхности размывов, стратиграфических несогласий, поверхности современного и древнего рельефа.

Можно было бы учитывать несогласные поверхности так: выделив их, ограничить фрагменты пространства, каждый из которых поддается приближению моделью Вернера (моделью Грессли, обобщенной моделью Вернера с учетом стратиграфической эквивалентности). Недостаток такого подхода — изучение каждого фрагмента по отдельности, полная потеря возможности предсказаний, структурных построений при переходе через несогласную границу. Между тем в реальной геологической действительности между телами и границами по разные стороны несогласий возможны не любые взаимоотношения. Здесь нет хаоса, существуют какие-то закономерности. Целесообразно учесть эти закономерности и на их основе построить модель, в которую были бы введены понятия несогласий.

Пойдем по пути конструирования мнимых объектов, достаточных для восстановления «вернеровости» всего изучаемого пространства. Например, есть два разреза (рис. 6).

Во втором разрезе есть тело, содержащее признак φ и лежащее выше тела с признаком π , а в первом разрезе выше тела π ничего нет. Приходится строить мнимое продолжение разреза I в соответствии с условием (3) модели Вернера. В первом разрезе есть тело, содержащее признак γ и лежащее между телами с признаками β и π , а во втором разрезе такого тела нет. Мнимый объект в соответствии с условием (3) здесь не поможет выкрутиться из положения: существование его на верхнем или нижнем продолжении разреза будет противоречить условию (1) модели Вернера.

Введем внутренние мнимые точки. Будем считать, что во втором разрезе между верхней границей тела, содержащего признак β , и нижней границей тела, содержащего признак π , есть точки, составляющие единое двумерное тело с одномерным телом I разреза, содержащим признак γ . Введение этих точек поможет восстановить «вернеровость» пространства (рис. 7).

Мнимость существования тела φ в первом разрезе и тела γ во втором подразумевается и в традиционных геологических оборотах речи: геологи обычно говорят, что тело φ и тело γ первоначально существовали, но затем были размывы.

Введение внутренних мнимых точек требует переформулировки условия (3) исходной модели Вернера.

Не будем продолжать дальнейшие возможные усложнения вернеровской модели, связанные с классификацией несогласий по характеру и распределению в пространстве мнимых точек, с введением понятий об опрокинутых залеганиях и т. д. Цель данной статьи другая — построить саму модель и показать принципиальную возможность путем ее усложнений охватить все более и более богатые деталями реальные геологические ситуации.

В конечном итоге любая ситуация может быть приближена моделью Вернера с соответствующими дополнениями.

ЛИТЕРАТУРА

- Баженов Л. Б. Структура и функции естественнонаучной теории. — В кн.: Синтез современного научного знания. М., «Наука», 1973.
- Борукаев Ч. Б. Проблема общей геохронологической шкалы докембрия. — «Геология и геофизика», 1972, № 1.
- Воронин Ю. А., Боровиков А. М., Салин Ю. С., Соловьев В. А., Бурханов Х. Х. О проведении стратиграфических построений на ЭВМ. — В кн.: Математические проблемы геофизики. Н., ВЦ СО АН СССР, 1974, вып. II.
- Воронин Ю. А., Боровиков А. М., Салин Ю. С., Соловьев В. А., Титов А. А. Совершенствование теоретических построений стратиграфии с помощью моделирования на ЭВМ. — В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Н., ВЦ СО АН СССР, 1972.
- Гашек Я. Похождения бравого солдата Швейка. — Избранное в двух томах, т. I. Изд-во «Правда», М., 1958.
- Пойа Д. Математическое открытие. М., «Наука», 1970.
- Салин Ю. С. Стратиграфическая корреляция на ЭВМ. — В кн.: Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974.
- Соколов Б. С. Биохронология и геологические границы. — В кн.: Проблемы общей и региональной геологии. Н., «Наука», 1971.
- Спенсер Г. Нелогическая геология. — Научные, политические и философские труды, СПб, 1866, т. 3.
- Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974.
- Халфин Л. Л. О тектоно-стратиграфическом направлении в геологии и принципах статиграфии. — В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Изд-во АН Казахской ССР, 1960.
- Шатский Н. С. Фауны и формации (Грессли и его учение о фаунах). Избр. тр., М., «Наука», 1965, т. IV.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МЕТОДОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ ГЕОЛОГИИ

И. П. Шарапов

Под методологией понимается недавно выделившаяся из логики наука о способах познания мира, базирующаяся на законах мышления и принципах эпистемологии. Инструментами научного познания служат методологические операции: наблюдение, эксперимент, документация, описание, объяснение, анализ, синтез, индукция, традиция, дедукция, расчленение, классификация, систематизация, группировка, идеализация, абстрагирование, восхождение от абстрактного к конкретному, символизация, математизация, моделирование, формализация, аксиоматизация и другие.

У каждой науки есть свой предмет исследования — природа, человек, общество, мышление, язык и т. д. Но исследоваться могут не только эти предметы, но и науки о них. Таким образом, есть науки о предметах и науки о науках. К последним относится науковедение, исследующее деятельность ученых по созданию знания, и метанаука, исследующая результаты этой деятельности, т. е. само знание. Метанаука интересуется знанием со стороны его структуры и методов. Часть метанауки, исследующая методы создания знания, называется методологией науки или, что менее точно, логикой науки.

Кроме общей методологии науки, есть частная методология — методология математики, методология химии, методология геологии и т. д. Есть также и частная метанаука — метаматематика, метахимия, метагеология и т. д. (Шарапов, 1972а; Szarapow, 1971; Sarapov, 1973).

Геологи методологией называют иногда совокупность приемов исследования какого-либо предмета, в связи с чем гово-

рят: «методология геологического картирования Карпат», «методология исследования моласс Ферганы», «методология подсчета запасов нефти Западной Сибири» и т. п., но тут, мы полагаем, имеются в виду методы или методики, но не методология.

Рассмотрим теперь выражение: «методология геологических исследований». Геологическая наука строится по геологическим исследованиям, но ими не ограничивается. Исследование — это деятельность по созданию знания. Наука же состоит не только из названной деятельности, но и из ее результатов, т. е. из знания. Отсюда можно сделать вывод, что понятие методологии геологических исследований нужно считать более узким, чем понятие методологии геологии.

Геологическое знание разнообразно по своему характеру. Есть знание предметное и методическое, эмпирическое и теоретическое, интуитивное и дискурсивное, и это следует иметь в виду при разработке методологии геологии.

Методологические проблемы геологии выдвигают и группируют часто без какой-либо системы, называя, например, методологию применения математических методов в геологии, методологию поисков месторождений полезных ископаемых, методологию системного подхода к геологии и методологию познания геологического прошлого. Соединение этих четырех проблем в одну общую, названную методологией геологических исследований, сделанное Институтом тектоники и геофизики в Хабаровске, имеет искусственный характер. Здесь не обеспечены ни полнота, ни непротиворечивость перечисления методологических проблем. Приведенные четыре проблемы неоднородны. Каждая из них выделена по своему особому признаку. Первая по признаку методологической операции, вторая — по этапу геологоразведочных работ, третья — по способу рассмотрения сложного предмета исследования и четвертая — по отрезку времени. Они перекрывают одна другую и далеко не исчерпывают списка первоочередных проблем методологии геологических исследований.

Совокупность идей в любой научной работе должна быть оценена с позиций системного подхода (Шарапов, 1972а). Попробуем применить этот подход к постановке методологических проблем геологии, но прежде нужно условиться о том — что такое системный подход вообще?

Системный подход можно понимать двояко. Во-первых, как систему наук, с позиций которых предмет исследования рассматривается и, во-вторых, как систему компонентов, со-

ставляющих предмет исследования. Но что такое система? Ю. А. Косыгин, В. А. Соловьев, П. Ф. Иванкин и др. понимают систему как множество взаимосвязанных элементов. Это не так. Система — не множество взаимосвязанных элементов, а репрезентат этого множества. Множество — понятие количественное. Система — это сложный предмет, у которого выявлены эмерджентные свойства. Любой предмет исследования можно считать системой, если нам удалось, во-первых, выявить его компоненты (не элементы, а именно компоненты), во-вторых, определить такие их взаимоотношения, благодаря которым они образовали данный, а не какой-либо другой предмет, т. е. найти закон композиции и, в-третьих, открыть специфические системные (эмерджентные) свойства предмета. Системный анализ как раз для выявления эмерджентных свойств и создан. Другие же свойства (аддитивные и, выделенные А. А. Любищевым, конститутивные) открываются и без этого анализа.

Нельзя согласиться с Ю. А. Косыгиным, В. А. Соловьевым и другими авторами, которые говорят, что минералы, горные породы, геологические формации, формационные ряды, формационные комплексы, геосферы, планеты — все это системы, сами по себе, независимо от геолога, существующие в природе. В этом понимании систем мы видим отзвук философского реализма (в духе учения Ансельма Кентерберийского). По нашей концепции надо различать систему, как некоторый предмет, и систему, как понятие этого предмета. Мы говорим: «предмет», а не «объект», так как это разные вещи. Объект существует вне нашего сознания, независимо от него и имеет бесконечно большое число свойств и отношений, а предмет имеет только некоторые из этих свойств и отношений (именно те, которые интересуют исследователя в связи с определенной целью исследования). Предмет — это отражение объекта в сознании исследователя.

Система, таким образом, существует только в сознании. И хотя сознание адекватно отражает объективную реальность, в последней нет систем, а есть только объекты. От нас зависит — рассматривать ли предмет как систему или как несистему. Все тела, процессы, идеи и т. д. обладают бесконечно многообразными взаимными связями. Исследователь интересуется лишь некоторыми из них. Поэтому один и тот же предмет мы можем считать то одной, то другой, то третьей системой. При этом предметом может быть и абстрактное множе-

ство вещей, например, множество месторождений флюорита, расположенных в разных частях света. Ошибочно думать, что в природе есть раз навсегда данные, строго фиксированные системы, например, формации горных пород, ряды этих формаций и т. д. По нашему мнению, одна и та же совокупность горных пород может считаться то одной, то другой, то третьей системой — в зависимости от цели исследования, а может и вообще не считаться системой. Уровни организации вещества в земной коре выделяются так же условно, как расстояние по высоте между соседними горизонталями на топографической карте или как классы минералов. Так, между горными породами и геосферами Ю. А. Косыгин выделяет три уровня организации, но ничто не мешает нам выделять один, два, четыре и т. д. По геотектоническому признаку можно вместо формаций, их рядов и комплексов, выделять плиты и геосинклинали, материковую и океаническую кору и т. д.

Системы группируются учеными каждый раз по-разному (в зависимости от цели исследования). Если нас интересует механика взаимодействия тел, то мы можем говорить о статических, кинематических и динамических системах. Если же нам важен ход изменения тел, то мы создаем ретроспективные, современные и футурологические системы, но путать эти два подхода к выделению систем не следует, так как статическая система может быть одновременно и ретроспективной, и современной, и футурологической. Так же обстоит дело и с кинематической, и с динамической системами.

Условившись о понимании системы вообще, мы можем теперь говорить о системном подходе к геологии в связи с постановкой методологических проблем.

Геология, как и всякая наука, состоит из знания и деятельности ученых по его созданию (эту деятельность называют научными исследованиями). Знание бывает интуитивным и дискурсивным. Интуитивное мы не делим на части, в дискурсивном выделяем предметное и методическое знание. Далее, предметное знание можно разделить на эмпирическое и теоретическое. Методическое же знание мы оставляем неразделенным на части. Так же не делим и деятельность ученых по созданию знания. В итоге получаются следующие функциональные компоненты науки: 1) интуитивное знание, 2) эмпирическое предметное, 3) теоретическое предметное, 4) методическое знание и 5) деятельность ученых по созданию знания. Первые четыре компонента образуют научное знание, а все пять — науку.

Системообразующее отношение этих компонентов мы пока не можем представить в виде закона композиции. Поэтому ограничимся следующим экспликатом последнего. Интуитивное знание — это доэмпирическое знание. В него входит формулирование проблемы исследования, определение предмета исследования и интуиция, как внезапное озарение мысли на любой стадии исследования. Это знание предшествует дискурсивному (главным образом, выводному). Эмпирическая разновидность дискурсивного знания в одних случаях предшествует теоретическому, в других — следует за ним. В периоды эволюционного развития науки взаимоотношение между эмпирическим (Э) и теоретическим (Т) знанием выражается схемой: Э—Т—Э. В периоды же революционного развития схема меняется и выглядит так: Т—Э—Т. В целом же развитие знания идет по бесконечной цепи: ... — Э—Т—Э—Т—Э—... Предметное и методическое знание развиваются взаимопараллельно, с проникновением одного в другое.

Критерий научности высказываний (Шарапов, 1972а) можно выразить следующей формулой: $(\forall x) (x \in C) = L(x) \wedge [(x \in \Pi) \vee (x \in \Phi) \vee (x \in B) \vee (x \in M)]$, где \forall — квантор общности; x — переменная для высказываний, научность которых проверяется; ε — присущность высказывания тому или иному компоненту знания; L — логичность высказывания (соответствие правилам логики); \wedge — конъюнкция; \vee — разделяющая дизъюнкция; Π — определение предмета исследования и формулирование проблемы; Φ — научные факты, даваемые эмпирическим знанием; B — выводы или теоретические высказывания (гипотезы, теории, номологические парадигмы, диахронические экстраполяции); M — методическое знание (т. е. методы создания, проверки и фиксации знания); $=$ — логический эквивалент; $(,)$ — скобки в обычном значении.

Эта формула означает, что любое высказывание (x), входящее в состав науки (C), строится по правилам и законам логики (L) и должно выражать: или определение предмета и задачи исследования (Π), или научный факт (Φ), или научный вывод (B), или научный метод (M).

Научное знание в целом является такой совокупностью научных высказываний, в которой есть все четыре компонента знания (Π, Φ, B, M). Но оно только тогда может считаться системой, когда мы найдем закон его композиции и откроем его эмерджентные свойства. Такими свойствами мы считаем способность научного знания давать истину, в частности от-

вечать на вопрос: что должно быть; что может быть и чего не может быть для систем. Ни один из названных четырех компонентов, никакая их пара и никакая тройка не способны дать истину. Только полная их совокупность, т. е. четверка, взятая во взаимодействии, дает истину. Если же в науке иногда получается ложь, то это говорит о недостатке какого-либо компонента, т. е. о том, что имеется неопределенность предмета и задачи исследования, нехватка фактов, некорректность выводов или ошибочность метода.

Понятие истины в виде ответа на вопрос о том, что должно быть, что может быть и чего быть не может для систем, можно пояснить примером. Если месторождения металлов в ультраосновных породах представить в виде системы, то мы можем точно сказать — какие месторождения должны быть, какие могут быть (при наличии некоторых условий) и какие невозможны ни при каких условиях. В этом проявляется эвристичность системного подхода к геологии.

Перейдем теперь к методологическим проблемам геологии (Szarapow, 1971). Их можно классифицировать тысячью разных способов. Можно, например, выделить методологические проблемы петрографии, стратиграфии, тектоники и т. д. или рассматривать применение каждой методологической операции вообще в геологии, затем применение каждой комбинации этих операций по две, по три и т. д., и это были бы проблемы, могущие представить интерес для методологии геологии в целом, но здесь мы задаемся более простой задачей: дать примеры методологических проблем, чтобы подкрепить представление о геологии, как системе.

Каждому из пяти компонентов геологической науки отвечает свой класс методологических проблем. Число же проблем в классе может быть каким угодно. Мы назовем лишь некоторые наиболее актуальные из них в дополнение к ранее опубликованным (Шарапов, 1972б; Szarapow, 1971).

1-й класс: методологические проблемы интуитивного знания в геологии. Примеры: а) как определить предмет исследования; б) как сформулировать проблему исследования; в) какова роль интуиции («геологического чутья») в геологическом знании.

2-й класс: методологические проблемы эмпирического предметного знания в геологии. Примеры: а) методологический анализ понятия факта в геологии; б) методологический анализ понятия геологической информации (что такое геологическая информация, как ее улавливать, отыскивать, пере-

рабатывать, передавать, хранить и использовать); в) геологическая документация как методологическая операция.

3-й класс: методологические проблемы теоретического предметного знания в геологии. Примеры: а) применение теории умозаключений; б) применение теории оценки; в) анализ и синтез; г) индукция, традукция и дедукция; д) применение в геологии учения Ю. А. Урманцева о полиморфизме и изомерии.

4-й класс: методологические проблемы способов формирования геологического знания. Примеры: а) взаимоотношение здравого смысла и логики в геологии; б) поисковые признаки и факторы локализации месторождений в свете методологии; в) применение методов структурной лингвистики в геологии; г) применение теории графов в геологии; д) что такое естественный и искусственный язык в геологии; е) методологические принципы создания геологических словарей энциклопедического типа; ж) методологические принципы создания геологических словарей дескрипторного типа;

5-й класс: методологические проблемы геологических исследований, т. е. деятельности геологов по формированию знания. Примеры: а) методологический аспект полевых геологических исследований; б) методологический аспект лабораторных геологических исследований; в) методологический аспект кабинетных геологических исследований; г) кодификация и методологический анализ методов геологии (геологосъемочного, геологоразведочного, геофизического, геохимического, аэрогеологического и др.); д) методологический аспект проблемы научной революции в геологии; е) методологические принципы истории геологической науки; ж) методологические основы преподавания геологии.

Некоторые из проблем могут объединяться между собой и давать комплексные проблемы. Среди последних наиболее актуальной мы считаем проблему системного анализа в геологии.

Геологическая наука в своем развитии пришла сейчас к такому состоянию, когда ее успехи появляются все реже и когда ее переход на более высокую ступень оказывается невозможным без освоения геологами методологических операций и без применения правил логики (Шарапов, 1974). Между тем ни в одном из научных институтов методологические и логические проблемы геологии (в том виде, как мы их понимаем) не разрабатываются. Труды по этим проблемам, написанные некоторыми лицами по их собственной инициативе

и в результате исследований, проведенных за их собственный счет, в печать попадают редко.

Необходимо открыть дорогу прогрессивным идеям в геологии.

ЛИТЕРАТУРА

Шарапов И. П. Системный анализ в геологии. — В кн.: Перспективы обеспечения газовой промышленности УССР ресурсами природного газа. М., «Недра», 1972а.

Шарапов И. П. Методологические проблемы геологии (о метатеологии). — «Геология и геофизика», 1972б, № 11.

Шарапов И. П. К созданию метатеорий в геологии. — В кн.: Информационные вопросы семиотики, лингвистики и автоматического перевода. М., ВИНТИ, 1974, вып. 4.

Szagarow J w a n P. Idee metageologii. Studia Filozoficzne. N 3, 1971.

S a g a r o w J. P. O metageologii. Tehnika opsti deo. N10, 1973.

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ СИСТЕМ

В. А. Кулындышев, Ю. Ф. Малышев

В настоящее время резко повысился интерес к методическим и теоретическим вопросам комплексной геологической интерпретации материалов геофизики. Сама проблема комплексной интерпретации не нова. Еще в 1924 г. академиком П. П. Лазаревым (Lasareff, 1924) были предприняты первые попытки в разработке методики совместной интерпретации данных геофизических методов, постановка которых была осуществлена в районе Курской магнитной аномалии. В институтах и университетах нашей страны читаются курсы лекций по комплексированию геолого-геофизических исследований и интерпретации их результатов. Опубликованы монографические работы, посвященные этой проблеме (Сельский, 1940; Фотиади, 1958; Федьинский, 1964; Андреев, 1965; Борисов, 1967; Фотиади и др., 1967; Деменицкая, 1967; Клушин, 1968; Годин, 1969; Кунин, 1972; Беляевский, 1974; Grant, 1965 и др.).

Анализ этих публикаций позволяет выделить три направления в разработке методики и теории комплексной интерпретации, получивших наибольшее развитие: эмпирическое, вероятностно-статистическое и кибернетическое.

Первое направление основывается на закономерностях, установленных на большом опыте геолого-геофизических исследований. Оно выразилось в создании многочисленных эмпирических, аналитических и других способов и приемов, пригодных для решения конкретных геологических задач. Относительно универсальным среди них для изучения глубинного строения земной коры может считаться метод геологической редукции, разработанный Э. Э. Фотиади (1958).

Второе направление — вероятностно-статистическое, стало развиваться в конце пятидесятых—начале шестидесятых годов и предшествовало внедрению ЭВМ в геологию и геофизику (Клушин, 1961, 1972; Клушин, Толстухин, 1963; Каратаев, 1966; Калинина, 1969; Луговенко, 1969, 1974; Гольцман, 1971; Статистические методы..., 1971; Grant, 1957; и др.).

Кибернетическое направление связано с широким использованием ЭВМ в геолого-геофизической практике и базируется главным образом на программах распознавания образов: «Кора-3» (Губерман и др., 1964), «Образ-3» (Ломтадзе, 1967), «Голотип» (Воронин и др., 1967а, 1970), а в последние годы оно выразилось в создании информационно-поисковых систем (Аронов, Невельская, 1971; Гольдина и др., 1972; Булах и др., 1974; Веселов и др., 1974; Добрецов и др., 1974).

Все три направления сохранили свою значимость и в настоящее время, но они не обеспечили создание теории комплексной интерпретации (Берзон и др., 1970; Страхов, 1970, 1974а, б; Тяпкин, 1974; Фотиади и др., 1974) и поэтому «наряду с постоянным совершенствованием методов геофизических исследований литосферы особо нужны разработки общей методологической основы геологической интерпретации комплекса данных различных методов для решения конкретных геологических задач и приспособления к этой основе (унификации) способов интерпретации в отдельных геофизических методах» (Фотиади, Ладынина, 1974, с. 153).

Необходимость построения теории комплексной интерпретации в настоящее время обуславливается рядом объективных причин. Главная причина заключается в том, что усложнились типы геологических задач, стоящих перед геофизическими методами. В частности, количество сравнительно легко

открываемых месторождений резко сократилось. Для обнаружения месторождений и оценки их перспектив сейчас нужны более полные сведения о структурной обстановке районов и их глубинном строении. Другая причина — накопление обилия комплексной геофизической информации, которой необходимо давать соответствующее геологическое толкование. Только современные аэрогеофизические исследования позволяют осуществлять одновременную регистрацию до десяти и более различных физических параметров. Третьей причиной является развитие соответствующих разделов математики (математическая логика, теория множеств, современная алгебра, топология и т. д.).

Намечаются следующие пути построения комплексной интерпретации. Во-первых, формализация геологических (Косыгин и др., 1964; Косыгин, Воронин, 1965; Воронин и др., 1967б) и геофизических (Дюков, 1963) понятий, что является фундаментом для определения связей между геологической и геофизической информацией и для применения математических методов. Во-вторых, подбор и усовершенствование соответствующих математических и физических теорий как для отдельных элементов интерпретации, так и для комплексной интерпретации в целом: распознавание образов (Фотиади и др., 1966), оптимизация управляющих систем (Берзон и др., 1970), планирование экспериментов (Гольцман, Калинина, 1973; Фотиади и др., 1974), исследование операций (Клушин, 1968), искусственный интеллект (Фотиади и др., 1974), решение систем уравнений физических полей (Жданов, 1973, 1974).

Реализацию перечисленных путей построения теории комплексной интерпретации необходимо осуществлять так, чтобы не терялся геологический смысл проводимых математических и логических операций и механически не подменялось геологическое содержание одними математическими схемами. Всякая интерпретация геофизических данных дает лишь какую-то геологическую модель, и задача интерпретации заключается в максимальном приближении этой модели к геологическим объектам. Комплексная интерпретация — единственно правильный способ освоения геолого-геофизических материалов, так как с ее помощью осуществляется связь геофизических аномалий с обуславливающими их геологическими телами при максимальном привлечении полезной геолого-геофизической информации.

Проведенный анализ апробированных и перспективных направлений в развитии комплексной интерпретации привел к выводу, что при разработке ее теории незаслуженно мало внимания уделялось изучению структурных аспектов проблемы. Представляется, что комплексная интерпретация геолого-геофизической информации принадлежит к разряду структурных дисциплин, т. е. таких дисциплин, в которых можно исследовать как систему естественных структурных связей в изучаемом геологическом объекте, так и систему формальных связей. Формальные связи — это символический (математический) язык, задающий модели исследования. Смешивать и отрывать друг от друга эти системы нельзя. Первая — ведет к идее структуры комплекса геофизических методов. Вторая — является операционной. В точных науках, например, математической физике (Соболев, 1954; Тихонов, Самарский, 1966) эти системы не разрывны. При построении теории комплексной интерпретации на современном уровне формализации геологии предпочтение следует отдавать изучению системы естественных структурных связей. Система формальных связей с развитием формализации будет совершенствоваться.

Комплексная интерпретация нами рассматривается как система, обладающая следующими свойствами: а) включает в себя меньшие системы — подсистемы; б) имеет некоторые критерии оценки системы, определяющие ее существование.

К подсистемам комплексной интерпретации отнесены фундаментальные физические и геологические предпосылки, комплекс геофизических методов, результаты интерпретации.

Критерии оценки системы подразделяются на внешние и внутренние. Главный внешний критерий устанавливается по максимальному приближению результатов интерпретации к изучаемым геологическим объектам. Предпочтение при оценке здесь отдается прямым методам (бурению, горным выработкам и т. д.). Внутренний критерий определяется свойствами самой системы и ее элементов. В качестве главного критерия используется идея нахождения структурного изоморфизма между выделенными подсистемами.

Рассмотрим процедуру построения комплексной интерпретации в предлагаемом нами варианте:

1. **Фундаментальное изучение физических и геологических предпосылок.** Изучаются физические свойства горных пород (по образцам) на уровнях минералов, пород, формаций и физические свойства геологических тел в естественном залегании на уровнях пород, формаций по отдельным массивам, толщам на специально выбранных эталонных участках. Устанавливаются связи физических свойств с минеральным и химическим составом горных пород и их структурой, используя современные методы исследования вещества: микроскопические, рентгено-структурные, рентгено-спектральные, ядерно-физические, электронное микрозондирование и другие. Выясняются типы структурных отношений в минералах, породах и породных ассоциациях. Изучаются закономерности изменения физических свойств с глубиной залегания горных пород по образцам из скважин, подземных горных выработок и в естественном залегании (в скважинах, подземных выработках). Выделяются геологические тела на уровне пород, формаций и изучается их структура и типы структурных отношений. В результате исследований эталонных участков получаем сведения о геологических телах, слагающих эти участки, их строении, взаимоотношениях и физических свойствах.

2. **Выбор комплекса геофизических методов.** Составляется список методов, в той или иной мере решающих поставленную задачу, на основе возможного соотношения их выявленным физическим и геологическим предпосылкам. При составлении списка методов учитывается не только дифференциация физических характеристик тел, но и положение тела в пространстве и его структурные связи. Последнее обуславливает выбор сети наблюдений, аналитические выражения для расчета физических полей и, как следствие, точность и достоверность решения поставленной задачи.

Определяется структура комплекса, т. е. указывается место каждого метода в комплексе и устанавливаются его взаимоотношения с другими методами. Прежде чем перейти к рассмотрению структуры комплекса, дадим классификацию комплексов по типу специализации и экономической эффективности.

По первому признаку будем различать комплексы одной специализации (только электрические методы, только радиоактивные и т. д.) и разной специализации, например, электрические, радиоактивные и магнитные.

По второму признаку выделяются рациональные и нерациональные комплексы. Рациональный комплекс включает методы, оптимально решающие поставленную геологическую задачу. В нерациональный комплекс наряду с необходимыми методами могут входить и методы, которые одинаково или с близкой точностью обеспечивают выполнение поставленных задач, но включенные в комплекс по техническим или каким-либо другим причинам (например, при проведении исследований многоканальными станциями — аэрогеофизическими, каротажными).

В настоящей работе речь идет главным образом о рациональных комплексах разной специализации, считая, что задача комплекса одной специализации решена и сведена к выбору одного метода каждой специализации из общего списка. Определяется отношение порядка методов разной специализации. Отношение порядка методов выбирается в соответствии с последовательностью частных задач, т. е. задач, поставленных для каждого метода в отдельности (например, нахождение объектов, установление геометрических параметров каждого объекта и т. д.). Отношение порядка, как и список методов, может меняться в зависимости от характера задач. Установление отношения порядка методов есть нечто иное, как выбор комплекса методов для проведения геофизических работ. Эта процедура обеспечивает решение задачи комплексной съемки или поисков.

3. Интерпретация результатов. После выполнения комплексных геофизических исследований или подбора имеющихся геофизических материалов в соответствии с установленным отношением порядка методов в комплексе получаем систему упорядоченной геофизической информации в виде карт, графиков, цифровых массивов и т. д. Каждый документ из этого набора отражает результаты применения одного из методов выбранного комплекса и позволяет получить решение одной или нескольких частных задач.

Возможно несколько путей комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. Первый путь — построение геологической модели по результатам частных решений, основанное на априорных представлениях о структуре объекта, вытекающих из изучения физических и геологических предпосылок и эталонных участков. Если такое построение модели осуществимо, то общая задача считается решенной. В противном случае, процедура комплексной интерпретации повторяется. Этот путь нам кажется недостаточно корректным и

перспективным, так как критерий оценки интерпретации в значительной степени определяется представительностью эталонных участков, а выявление новых связей затруднено.

Более перспективен второй путь. В этом случае также максимально используются физические и геологические предпосылки, но структура геологической модели не задается априорно, а создается в процессе комплексной интерпретации.

Процедура интерпретации начинается с тщательного анализа информации, полученной каждым из примененных геофизических методов. Он включает районирование аномалий, необходимые преобразования аномальных полей и количественные решения обратных геофизических задач.

При районировании аномальных полей производится выделение различных типов аномалий, выяснение характера их границ, выявление иерархии аномалий и их структурных отношений. Эти сведения позволяют найти геологическую модель, характеризующуюся определенной структурой и типами структурных отношений. Устанавливается наличие изоморфизма между структурой модели и структурой, выведенной из физических и геологических предпосылок и исследований на эталонных участках. Несовпадение структурных связей может быть обусловлено качественным характером и неполнотой решения задачи на этом этапе интерпретации или присутствием новых связей, обнаруживаемых применением данного метода.

Геофизические аномалии, как правило, представляют собой суперпозицию аномальных эффектов отдельных геологических тел, расположенных на разной глубине от земной поверхности. В связи с этим, в ряде случаев целесообразно проведение преобразований аномальных полей. Они позволяют ослабить или усилить влияние тех или иных аномальных объектов (процедура разделения аномалий). Полного разделения аномалий достигнуть практически не удается. Фактически получается распределение аномалий по уровням наблюдений, параметрами которых являются высота плоскости измерения, масштаб съемки, тип преобразований (высота пересчета, радиус осреднения, порог фильтрации аномалий и т. д.) (Малышев, 1973). Определяется сходство структурных связей между аномалиями разных уровней и структурой изучаемого объекта, вытекающей из физических и геологических предпосылок и исследований эталонных участков.

Этапы районирования и преобразования аномальных полей относятся преимущественно к качественному типу исследова-

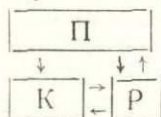
дований, так как они дают сравнительно мало точных количественных параметров изучаемых геологических тел. Эти сведения добываются на третьем этапе при количественных расчетах элементов залегания геологических тел по геофизическим аномалиям. На этом этапе интерпретации также строится геологическая модель, оценка которой подобна оценкам моделей предыдущих этапов.

Проведенные исследования на рассмотренных этапах позволяют построить и оценить геологические модели, основанные на информации одного метода. Аналогичная процедура интерпретации осуществляется с данными каждого геофизического метода комплекса. Каждый метод занимает конкретное место в структуре комплекса выбранных методов (вторая подсистема комплексной интерпретации), а его задачи определены физическими и геологическими предпосылками (первая подсистема комплексной интерпретации). Поэтому вклад каждого метода в построение общей геологической модели по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных может быть различным.

Приступаем к конструированию общей модели (третья подсистема комплексной интерпретации). Рассмотрим два подхода к решению этого вопроса. Первый — заключается в построении общей модели по результатам решения частных задач путем анализа и синтеза моделей, полученных при интерпретации данных каждого метода, и в последующей оценке общей модели. При втором подходе определяются структурные отношения отдельных элементов общей модели, установленные в процессе комплексной интерпретации, достаточные для оценки структуры общей модели. Предпочтителен второй подход, так как он позволяет произвести оценку общей модели без ее построения. Если при оценке модели выявлено нарушение структурного изоморфизма между третьей и первой подсистемами комплексной интерпретации, то объяснение этого может быть следующим: 1) не точны геологические и физические предпосылки вследствие ошибок, непредставительности эталонов или наличие новых невыявленных связей; 2) допущены ошибки при решении частных задач или синтезе этих решений. Нахождение ошибок интерпретации, неточностей предпосылок и возможного существования новых структурных связей при втором подходе к оценке модели относительно проще, чем при первом, так как можно сравнительно легко перейти как к предпосылкам, так и к частным

решениям. После оценки и уточнения геологической модели переходим к ее построению.

Таким образом, имеем замкнутый цикл исследований геолого-геофизической информации, включающий изучение: предпосылок (П) — комплекса методов (К) — решения частных задач и их структурных отношений (Р). Его можно изобразить схематически следующим образом:



Рассмотренная система комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов характеризуется определенными свойствами:

1. Существованием структурного изоморфизма между входящими в нее подсистемами (предпосылки, комплекс методов, результаты интерпретации). Исследуется два типа структурного изоморфизма: первый — между структурой частных задач (первая подсистема), вытекающих из физических и геологических предпосылок, на основе которых составляется список геофизических методов, структурой комплекса методов (вторая подсистема) и структурой полученных решений этих задач (третья подсистема); второй — между структурой геологической модели, построенной по априорным данным (первая подсистема) и структурой модели, созданной по результатам комплексной интерпретации (третья подсистема). Структура комплекса методов может корректироваться при нарушении изоморфизма между структурой полученной геологической модели и предпосылок.

2. Наличием обратных связей третьей подсистемы (результаты интерпретации) с первой (предпосылки) и второй (комплекс методов), которые позволяют сравнительно быстро устанавливать ошибки и пути их ликвидации и обнаруживать новые особенности в строении изучаемого геологического объекта на основании геофизической информации.

3. Качественным различием подсистем по характеру используемых данных. В этом смысле первая и вторая подсистемы однородны: первая — априорная, вторая — апостериорная. Третья подсистема оперирует как апостериорными данными, выводимыми из результатов интерпретации физических полей, так и априорными (значения физических свойств, геологические параметры).

В предлагаемом подходе к комплексной интерпретации познание геологических объектов осуществляется главным образом через изучение их структуры. Учитывая многообразие геологических задач следует отметить, что эффект использования построенной системы будет неодинаковым. Он, в частности, может оказаться недостаточным для решения задач сугубо вещественного плана.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев Б. А. Геофизические методы в региональной структурной геологии. М., «Недра», 1965, 323 с.

Аронов В. И., Невельская Э. Я. Реализация ИПС в геологии на ЭЦВМ. — В кн.: Математические методы и ЭЦВМ в геологии. Тр. ВНИГНИ, М., 1971, вып. 103.

Беляевский Н. А. Земная кора в пределах территории СССР. М., «Недра», 1974, 280 с.

Берзон И. С., Бердичевский М. И., Гурвич И. И., Карус Е. В., Клушин И. Г., Пузырев Н. И., Петровский А. Д., Страхов В. Н., Федоренко А. И. Состояние и перспективы развития теории и физических основ разведочной геофизики. — «Изв. АН СССР. Физика Земли», 1970, № 4, с. 24—32.

Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М., «Недра», 1967, 302 с.

Булах Е. Г., Ржаницын В. А., Маркова М. И. Некоторые возможности использования автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий при детальном изучении нефтегазоперспективных структур. — «Тезисы сем. Применение математич. методов и ЭВМ в геол.». Алма-Ата, 1974, с. 148—157.

Веселов В. В., Коростышевский М. Б., Курбанаев М. С. Принципы построения информационно-логической системы «АСУ-поиск». — «Тезисы сем. Применение математич. методов и ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974, с. 7—11.

Воронин Ю. А., Каратаев Г. И., Эпштейн Э. Н. Комплекс программ «Голотип» для решения задач распознавания образцов. — «Тезисы докл. второго сиб. совещ. по примен. математ. методов и ЭВМ в геологии и геофизике». Н., «Наука», 1967а, с. 96—97.

Воронин Ю. А., Алабин Б. К., Гольдина Е. В., Гольдина И. А., Елганов Э. А., Иванова М. Н., Канторович А. Э., Каратаева Н. И., Кутодин В. А. и др. Геология и математика. Н., «Наука», 1967б, 254 с.

Воронин Ю. А., Ионина Н. А., Каратаева Н. И., Лбов Г. С., Мерекин Ю. В., Ньюберг И. Н., Петрова С. П., Пятаев И. М., Титов А. А., Эпштейн Э. Н. — Геология и математика. Н., «Наука», 1970, 224 с.

Годин Ю. Н. Глубинное строение Туркмении по геофизическим данным. М., «Недра», 1969, 232 с.

Гольдина Н. А., Богомякова Е. Д., Волков А. М., Волков Э. Я. Информационно-воисковые системы по геологии нефти и газа. — «Тр. ЗапСибНИГНИ». Тюмень, 1972, зып. 57, 108 с.

- Гольцман Ф. М. Статистические модели интерпретации. М., «Наука», 1971, 200 с.
- Гольцман Ф. М., Калинина Т. Б. Комплексование геофизических наблюдений. — «Изв. АН СССР. Физика Земли», 1973, № 8, с. 31—42.
- Губерман Ш. А., Извекова М. Л., Холин А. М., Хургин Я. И. Использование алгоритма распознавания образов для решения задач промысловой геофизики. — «Докл. АН СССР», 1964, т. 154, № 5, с. 1082—1083.
- Деменницкая Р. М. Кора и мантия Земли. М., «Недра», 1967, 280 с.
- Добрецов Н. П., Зуенко В. В., Шемякин М. Л. Статистические методы в геологии. П., «Наука», 1974, с. 34—61.
- Дюков А. И. Термины по геофизическим исследованиям, рекомендуемые использовать при металлогеническом районировании и составлении металлогенических карт. — В кн.: Обзор геологических понятий и терминов в применении к металлогении. М., Изд-во АН СССР, 1963, 120 с.
- Жданов М. С. К проблеме аналитического продолжения двумерных потенциальных полей. — «Геология и геофизика», 1973, № 2, с. 93—97.
- Жданов М. С. О едином подходе к проблеме интерпретации геофизических аномалий на основе методов продолжения полей. — «Геология и геофизика», 1974, № 10, с. 129—137.
- Калинина Т. Б. Статистический метод определения параметров возмущающих тела. Вопросы трансформации поступающих полей. — В кн.: Теория обоснования и прак. трансформации потенциал. геофиз. полей для решения региональн. геол. задач. М., 1969, с. 59—63.
- Каратаев Г. И. Корреляционная схема геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. П., «Наука», 1966, 135 с.
- Клушин И. Г. Методика совместной интерпретации геофизических данных. — «Геология и геофизика», 1961, № 11, с. 99—107.
- Клушин И. Г. Комплексное применение геофизических методов для решения геологических задач. Л., «Недра», 1968, 303 с.
- Клушин И. Г. Многокомпонентная мера близости для выбора оптимального варианта интерпретации. «Геофизический сборник», 1972, № 6, с. 11—18.
- Клушин И. Г., Толстихин И. Н. Статистическое определение глубины залегания источников аномалий магнитного поля. — В кн.: Записки ЛГИ, 1963, т. XLII, вып. 2, с. 63—70.
- Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А. Некоторые фундаментальные понятия структурной геологии. — «Геотектоника», 1965, № 1, с. 51—60.
- Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А., Соловьев В. А. Опыт формализации некоторых тектонических понятий. — «Геология и геофизика», 1964, № 1, с. 23—27.
- Кунин Н. Я. Комплексование геофизических методов при геологических исследованиях. М., «Недра», 1972, 270 с.
- Ломтадзе В. В. Типовые программы для ЭВМ «Минск-2». Программа «Образ-3», Л., Изд-во ВИРГ, 1967, 31 с.
- Луговенко В. Н. Характеристика аномального магнитного поля с позиций теории случайных функций. — В кн.: Теор. обоснов. и практ. трансформации потенциалн. геофиз. задач. М., 1969, с. 161—168.
- Луговенко В. Н. Статистический анализ аномального магнитного поля территории СССР. М., «Наука», 1974, 200 с.

Малышев Ю. Ф. Геофизические аномалии и структура архея центральной части Алданского щита. — «Геология и геофизика», 1973, № 2, с. 87—92.

Сельский В. А. Изучение строения земной коры на основании данных геофизики. М.—Л., Гостеолитиздат, 1940, 194 с.

Соболев С. Л. Уравнения математической физики. М., Гостехтеориздат, 1954, 444 с.

Статистические методы интерпретации геофизических наблюдений. Л., Изд. ЛГУ, 1971.

Страхов В. Н. О состоянии и задачах математической теории интерпретации магнитных и гравитационных аномалий. — «Изв. АН СССР. Физика Земли», 1970, № 5, с. 112—119.

Страхов В. Н. Современное состояние и перспективы развития комплексной геологической интерпретации данных геофизических наблюдений. — «Тезисы сем. «Примен. математич. методов и ЭВМ в геол.». Алма-Ата, 1974а, 257 с.

Страхов В. Н. Основы методологии и интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. — «Тезисы сем. «Примен. математ. методов и ЭВМ в геол.». Алма-Ата, 1974б, с. 261—262.

Тихонов Л. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М., «Наука», 1966, 724 с.

Тяпкин К. Ф. О методологических проблемах геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. — «Геофизический сборник», 1974, № 61, с. 24—28.

Федынский В. В. Разведочная геофизика. М., «Недра», 1964, 672 с.

Фотиади Э. Э. Геологическое строение Русской платформы по данным региональных геофизических исследований и опорного бурения. М., Гостонтехиздат, 1958, 250 с.

Фотиади Э. Э. (ред.). Геологические результаты геофизических исследований в Сибири и на Дальнем Востоке. Н., «Наука», 1967, 514 с.

Фотиади Э. Э., Воронин Ю. А., Гусев Ю. М. Построение стандартной схемы геологической интерпретации геофизических данных. — «Докл. АН СССР», 1966, т. 171, № 1, с. 170—172.

Фотиади Э. Э., Воронин Ю. А., Курбанаев М. С. Состояние, тенденции и перспективы развития комплексной интерпретации геофизических данных. — «Тезисы сем. «Примен. математ. методов и ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974, с. 258—260.

Фотиади Э. Э., Ладынин А. В. Состояние и геологические задачи комплексных геофизических исследований глубинного строения литосферы на территории Сибири и Дальнего Востока СССР. — «Геология и геофизика», 1974, № 5, с. 144—154.

Grant F. S. A problem in the analysis of geophysical data. Geophysics, 1957, v 22, N 2, p. 309—344.

Grant F. S., West G. F. Interpretation theory in applied geophysics. New York, 1965, 583 p.

Lasareff P. P. Sur les relations entre les anomalies de magnetisme terrestre et celles de gravite. Journ. Phys. et le Radium, ser. 6, 1924, t. 5, N 6, p. 191—193.

ТЕЛО, СТРУКТУРА, ФОРМА В ГЕОЛОГИИ

(некоторые противоречия и проблемы)

Р. Ф. Черкасов

Геолог на каждом шагу сталкивается с телами, структурами, формами. Соответствующие понятия принадлежат к числу главнейших в геологии, да и в большинстве других наук.

Тема эта, конечно, необъятная. Здесь затронуты лишь некоторые противоречия в употреблении терминов «тело», «структура», «форма» для того, чтобы попытаться уточнить их смысл и указать на некоторые актуальные проблемы. Эта задача в известной мере облегчена благодаря появлению в последнее десятилетие нескольких специальных работ, посвященных главным образом анализу понятия «структура» (Косыгин и др., 1966, 1967; Косыгин, 1970; Четвериков, 1971; и др.).

Омонимия и полисемия — патология науки

Геология пользуется пока что естественным языком. Следовательно, ее термины нередко полисемичны (многозначны), а в некоторых случаях разные термины совпадают по звучанию (омонимия). Например, слово «форма» имеет в русском языке, по крайней мере, 10 значений: внешнее очертание объекта; внутренние отношения объекта; сам объект; способ существования объекта; род, вид или разновидность объекта; образец, шаблон; приспособление для придания чему-нибудь тех или иных очертаний; видимость чего-либо; красота, и др. Большинство из этих значений проникло и в геологию благодаря естественности ее языка.

Имеются статьи, в которых указанный термин употребляется в трех—четыре разных смыслах, как об этом можно судить по контексту, а нередко — гадать. Наша мысль незаметно вязнет в болоте полисемии. Геолог часто не знает: правильно ли он понимает тот или иной термин. Ведь не может же он одновременно думать и еще думать о том, как он думает. Коварная омонимия уводит нашу мысль на ложные пути. Лишь изредка геолог приходит к явному абсурду и тогда заключает, что данный термин он понимал неправильно.

Ситуация усугубляется еще и тем, что геологический язык унаследовал от естественного его богатую синонимику. Но для точного научного языка синонимия справедливо считает-

ся излишней роскошью. Далеко не всегда можно судить о том, являются ли разные термины синонимами, а если являются, то полные ли это синонимы или частичные. Пример обильной синонимии — синонимы слова «форма» (в одном из его значений): морфология, вид, внешность, наружность, очертание, контур, облик, габитус, конфигурация, фигура и др.

Нередко не уяснив смысл базисных терминов «структура», «форма», «тело», во-первых, образуют на их основе новые термины, что приводит к еще большему запутыванию. Появляются термины «структурный разлом» (будто есть бесструктурные разломы), «тектолитоморфоструктура» и т. д. Во-вторых, употребляют рассматриваемые базисные термины как синонимы. Причем настолько часто, что в последнем издании «Структурной геологии» В. В. Белоусов (1971, стр. 4) разъясняет: «...Тела называют формами залегания горных пород, или структурными формами, или просто структурами».

В многочисленных определениях тектоники обычно указывается, что она изучает геологические структуры, их развитие и т. д. Но при ближайшем рассмотрении оказывается, что структурами называются то действительно структуры, то тела и что тектоника изучает в основном крупные и гигантские геологические тела. Современная тектоника — это огромный остаток той недифференцированной геологии, из которой выделились по мере развития минералогия, затем петрография, а сейчас пытается выделиться учение о формациях. И не случайно в тектонике есть еще структурная геология, которая приблизилась к изучению действительных структур, хотя, как показывает цитата из книги В. В. Белоусова, ее предмет тоже не очень ясен.

В развитых науках нет указанной путаницы. В кристаллографии и минералогии, в петрографии не смешиваются (хотя бы терминологически) тела, структуры и формы, что позволяет выявлять различные структурные и морфологические закономерности. Четкое разграничение базисных понятий — один из показателей зрелости науки.

Геологические тела

Исходный объект исследования в геологии — различные тела. Да и не только в геологии. По В. И. Вернадскому, все естествознание изучает устойчивые природные образования — тела (атомы, минералы, звезды, растения, животные и т. д.) и протекающие в них процессы. «Настоящая логика естество-

знания есть логика вещей, т. е. логика природных тел» (Вернадский, 1965, стр. 175).

Словари со времен Даля и до наших дней обычно определяют тело как вещество, ограниченное замкнутой поверхностью. То есть тело — ограниченное, оформленное вещество. Это определение годится, видимо, для первой стадии изучения вещества, когда тела ограничиваются, различаются и отождествляются по внешним свойствам (форма, размеры и т. д.), представляющим собой проявление их скрытой сущности.

Вторая стадия познания вещества — раскрытие и изучение его состава (при преобладании аналитических методов) и объяснение его свойств определенным составом. Третья стадия — исследование структуры вещества в основном с помощью синтетических методов, способствующих восстановлению внутреннего единства изучаемого объекта, нарушенного в процессе предшествовавшего анализа; объяснение с помощью структуры его состава и свойств (Кедров, 1965).

Из сказанного следует, что в более глубокое определение понятия «тело» целесообразно включать его существенные признаки — вещественный состав и структуру. Геологическое тело — ограниченное, оформленное геологическое вещество, обладающее определенным составом и структурой*. Под геологическим веществом понимается вещество геологических уровней организации: от минералов до твердых планет земного типа. Использование указанных существенных признаков и их проявлений в виде внешних свойств позволяет отличать естественно выделенные тела от искусственно выделенных, т. е. установленных по произвольным признакам. Первые выступают как системы (расчлененные тела, характеризующиеся целостностью), компоненты (субсистемы, элементы) и элементы — компоненты, неделимые в рамках определенной науки ее методами.

Система может быть мономером или полимером. Геологический мономер (геомономер)** — минимальная часть тела, сохраняющая его состав и структуру. Геологическое

* Это геологическое тело в узком смысле слова, для обозначения которого еще нет специального термина (системное тело?, таксономическое тело?). Геологическое тело в широком смысле слова — геологическое вещество ограниченное замкнутой поверхностью.

** По В. И. Драгунову (1971), это элементарная ячейка тела; по Ю. А. Косыгину (1974) — элементарная группа структурных элементов тела.

ческий полимер (геополимер) — результат многократного повторения геомономера (многократного, но не бесконечного, ибо при достижении определенного предела приращение мономера вызывает качественное изменение системы).

Итак, в ходе познания геологических тел последовательно выясняются их свойства, состав, структура и, в конце концов, свойства объясняются через структуру. К этому можно сделать два замечания. Первое: одного состава недостаточно для вполне однозначного определения таксономического вида тела, хотя на определенной стадии изучения тела геолог вынужден определять этот ранг по указанному признаку. Как известно, существуют изомеры — тела, имеющие одинаковый состав, но разную структуру. Поэтому, например, в ранней петрографии в ряде случаев гранит не отличался от кварцполевошпатового песчаника*. Весьма актуальна задача выявления структур у формаций и тел более высокого ранга организации. Для первых только что появились работы такого рода (Громин, 1974; Драгунов и др., 1974). Второе: в геологии широко распространены генетические классификации и объяснения явлений (свойств тел), основанные нередко на умозрительных соображениях и непроверяемые, в ущерб структурным классификациям и объяснениям**. Это одна из важнейших методологических проблем. И она довольно интенсивно обсуждается, начиная с середины 60-х гг. Последним крупным вкладом в критику такого рода генетизма является работа К. В. Боголепова (1974).

Интересно отметить, что пересмотр взгляда на роль генетического (причинного) объяснения происходит и в общей методологии естествознания: «Существовало, да и сейчас существует убеждение, что любое объяснение явлений природы носит так или иначе причинный характер. Методологический анализ современного естествознания позволяет однако сделать другой вывод — любое объяснение явлений природы носит структурный характер. Этим последним утверждением не отрицается роль причинного объяснения в естествознании,

* Кстати, в новом «Геологическом словаре» (1973) понятия «гранит» и «аркоз» даны без указания на структуру. Вероятно, по недосмотру.

** Кроме того, распространены смешанные классификации, построенные на генетических и негенетических основаниях. Если, например, в минералогии имеется, помимо генетических классификаций, негенетическая кристаллохимическая классификация (и кварц всегда кварц, независимо от происхождения), то уже в петрографии картина иная.

но подчеркивается подчиненная его роль по отношению к структурному объяснению» (Озчинников, 1969, стр. 111).

Проблема классификации геологических объектов (тел, структур, форм и др. образований) — многомерная и сложная проблема. По признаку подвижности целесообразно различать:

1) покоящиеся (относительно других) объекты — статические;

2) движущиеся объекты — динамические (кинетические), в том числе: а) равномерно движущиеся (не претерпевающие необратимых внутренних изменений) — стационарно-динамические; б) неравномерно движущиеся (претерпевающие необратимые внутренние изменения) — эволюционирующие объекты. Зарождение объектов целесообразно рассматривать в классификации генетических факторов.

Малоподвижные образования можно без абсурда рассматривать как статические, абстрагируясь от движения. Аналогичным образом можно исследовать и высокоподвижные геологические объекты в течение коротких промежутков времени, ибо статика — момент динамики.

По признаку существования целесообразно различать:

1) существующие объекты — онтологические (онтообъекты, или актуобъекты), в том числе: а) наблюдаемые; б) ненаблюдаемые;

2) несуществующие объекты, в том числе: а) существовавшие в прошлом (палеобъекты) — реконструируемые и нереконструируемые; б) несуществовавшие объекты — возможные в будущем (футуробъекты) и невозможные объекты.

Комбинация указанных классификаций позволяет выделить еще ряд классов и среди них палеостатические и палеодинамические объекты, футуростатические и футуродинамические объекты, необходимые соответственно при исторических исследованиях и в геологической прогностике (прогноз вулканических извержений, землетрясений и т. д.).

При исторических исследованиях имеет смысл различать не только геологическое время (прошедшее, настоящее и будущее), но и его носителей, в том числе носителей его следов. Образования, рассматриваемые в аспекте времени — хронологические объекты. Среди них в геологии выделяют диахронные и изохронные тела. К последним принадлежат стратиграфические подразделения, поверхности которых совпадают с реконструированными изохронами. Совокупности страти-

графических тел — статические «часы» — основной источник наших знаний о геологическом времени.

Можно выделить еще ряд классов геологических объектов, дополняющих и детализирующих уже указанные. В частности, по степени сохранности рационально различать полно сохраненные и неполно сохраненные (частично разрушенные) объекты, а по степени изученности — полно определенные объекты (например, подразделения объемного тектонического районирования) и неполно определенные объекты (подразделения площадного районирования).

Естественно, что здесь невозможно охватить все многообразие тел, структур и форм. Коснемся только статических образований, которые являются объектом изучения большинства геологов. Познание в геологии начинается со статики, которая позволяет осуществить первое приближение к сущности объекта. На этой основе обеспечивается более глубокое проникновение в сущность при изучении его динамики. А знания о статике и динамике объектов позволяют проводить реконструкции однотипных с ними палеообъектов.

Проблема терминологии. Учитывая важность статических образований, можно было бы ожидать, что их терминология наиболее разработана. Ибо они — исходный пункт исследования и не назвав их, нельзя делать дальнейшие шаги. Но оказывается дело обстоит иным образом: довольно хорошо развита генетическая и историческая терминология, но не терминология наблюдаемых объектов. Например, геосинклиналь определялась обычно через движения: как форма, поверхность или бассейн с длительным прогибанием дна, контрастными движениями и т. д. Но название тела, наблюдение над которым позволило в конечном итоге реконструировать эти движения, долгое время оставалось неясным. Потом появился термин «складчатая зона (система и т. д.)», к которому ныне добавляют — «геосинклинальная» (Хаин, 1973; и др.), ибо известны и негеосинклинальные складчатые зоны. А с другой стороны, термин «геосинклиналь» начали использовать для обозначения крупных тел (Гарецкий и др., 1972; и др.). Однако употребление его в этом новом смысле, видимо, не способствует стабильности терминологии.

Рационально различать: а) первичные, обычно негенетические* термины, образованные на основе наблюдений состава

* Исключением являются лишь термины, относящиеся к наблюдаемым геологическим процессам.

ва, структуры и других признаков и обозначающие наблюдаемые объекты и соответствующие им понятия (причем понятия могут существенно меняться или оказаться ошибочными, но так как термины являются прежде всего знаками объектов, научный язык оказывается стабильным); б) вторичные термины, обозначающие, во-первых, предполагаемые объекты, не доступные по какой-либо причине наблюдению, и, во-вторых, реконструируемые объекты, в том числе процессы. Среди последних находятся и корректно образованные генетические термины.

Таким образом, при изучении геологии (за исключением современных процессов) генетическим терминам должны предшествовать негенетические, «выделительные». Ибо не выделив объект (в том числе терминологически), нелепо строить гипотезу о его генезисе. Обилие генетических (псевдогенетических) терминов в тектонике (Боголепов, 1974) затрудняет понимание и упорядочение ее языка.

Пересмотр взгляда относительно происхождения какого-либо класса тектонических структур ставит под угрозу генетический (псевдогенетический) термин, которым он обозначен. Например, после выяснения того, что складки волочения не образуются в процессе волочения, последовал призыв отказаться от этого термина (Эз, 1969). Теперь эти структуры, важные для определения кровли и подошвы слоев в них, особенно высокометаморфизованных толщах (в которых другие аналогичные структуры не сохранились), остались без термина или с весьма сомнительным термином, который ныне берут в кавычки. Впрочем, это обычная судьба не только генетических, но и всяких других терминов, построенных на основе гипотетических признаков. Например, базальтовый сейсмологический слой ныне называют то гранулитовым, то гранулит-базитовым, то берут в кавычки, т. е. стабильность термина нарушена.

Кроме того, важно подчеркнуть, что негенетические и генетические классификации пересекаются, ибо геологические тела, структуры, формы и т. д. нередко полигенетичны. Например, кварц может быть весьма различного происхождения, впрочем, как и складки, которым до 60-х гг. нередко пытались приписать один генезис. Еще не забылась острая дискуссия о происхождении гранитов. Что было бы с основным термином, если бы он оказался генетическим?

Проблемы вторичных тел (их выделения и терминологии) еще не решены. Неполно вторичными, видимо,

целесообразно называть тела, сохранившие состав или реликты состава и (или) структуры первичных тел. К ним относятся, например, некоторые метасоматиты, тектониты, метаморфиты. Полно вторичные тела — не сохранившие реликты состава и структуры первичных тел. Например, некоторые породы гранулитовой фации.

Крупный и важный класс вторичных тел образуют тектонические дислокационные тела. Однако в связи с перешенностью проблемы в целом в последнее время участились попытки применять термины «разлом» и «складка» не к структурам, а к самим вторичным телам, обладающим структурой разлома и складки. Поэтому во избежание путаницы целесообразно различать, по крайней мере: а) пликативные тела — имеющие структуру пликативной дислокации (в частности, складчатое тело); б) дизъюнктивные тела* — имеющие структуру дизъюнктивной дислокации (в частности, разломное тело).

Проблема таксономии (типологии, систематики) геологических объектов — главнейшая и вместе с тем наименее исследованная классификационная проблема геологии. Универсальные классификации предлагались почти во всех разделах геологии. Тем не менее лишь в минералогии они опирались на вполне определенную основу. Ибо только в ней сформулированы четкие критерии выделения таксонов: видов, родов, групп, семейств, типов, подвидов и др. (Поваренных, 1966; Лазаренко, Квитко, 1971; и др.).

Таксономия имеет прямое отношение к решению проблемы естественности геологических объектов. А с другой стороны, она важна для реконструирования и прогнозирования геологических образований. Вероятно, наиболее успешно можно реконструировать и прогнозировать общие (типовые, родовые и т. д.), а не индивидуальные признаки.

Геологические структуры

В большинстве общих работ по тектонике структура определяется как строение. Разумеется, это не определение, а перевод латинского слова, который стал одним из многочисленных синонимов термина «структура». Наиболее распространенные из них: сложенне, текстура, строй, устройство, поряд-

* Этим термином иногда обозначают блоки, ограниченные дизъюнктивами, т. е. имеющие дизъюнктивную форму, а не структуру. По принятой здесь системе терминов это междизъюнктивные тела.

док, связь, соединение, конституция, система, композиция, конфигурация, организация, взаиморасположение, форма, морфология, архитектуроника.

Общенауочное определение понятия «структура тела (системы)»: совокупность внутренних отношений тела, т. е. отношений между компонентами. Точнее, это совокупность существенных, системообразующих отношений, которые придают телу целостность. Наряду с вещественным составом, структура — инвариантный аспект тела.

Структура неразрывно связана с телом и не может физически существовать вне его. Но она может быть абстрагирована от тела. Целесообразно различать телесные, вещественные, иными словами, содержательные структуры, и чистые, геометрические — результат абстракции. Последние не выражают каких-либо отношений, кроме геометрических, т. е. являются бессодержательными структурами.

Статические структуры — это пространственные отношения компонентов, выраженные их взаиморасположением. Оно предопределяется размещением, ориентировкой, формой и размерами компонентов.

Пространственные отношения фиксированы поверхностями, а также линиями, точками. Например, поверхности слоев фиксируют согласные или несогласные отношения (а среди несогласных — параллельные и угловые отношения; среди последних — слабые, или так называемые географические несогласия и резкие несогласия, неудачно названные структурными).

Динамические структуры — это не только пространственные отношения, но и взаимодействия, силовые отношения, удерживающие компоненты в пределах системы, т. е. обеспечивающие ее существование и (или) развитие как органичной целостности.

Главнейшей и наиболее трудной задачей при изучении геологических структур является выяснение их закономерностей и законов, быть может, аналогичных кристаллографическим законам*. Для решения этой задачи наибольшее значение имеют симметричный, системный и количественный под-

* При этом надо учесть, что по мере повышения уровня организации геологических тел увеличивается степень нерегулярности их структуры. Можно предполагать, что тела одного уровня организации, занимающие более высокую ступень эволюционной лестницы, характеризуются повышенной степенью нерегулярности структуры и сниженной симметрией по сравнению с менее развитыми телами.

ходы, а также применение символического языка и структурных формул геологических тел, подобных употребляемым в кристаллографии.

К недостаткам тектонической терминологии относится, помимо всего прочего, весьма узкое в некоторых случаях употребление термина «структура». Например, в одной из классификаций (Потапов, 1960) таковыми названы поднятия третьего порядка в пределах платформ и плит. Кроме того, некоторым тектоническим подразделениям отказано в принадлежности к классу структур. Например, по В. В. Белоусову (1971), складки не являются структурами. По-видимому, этот исследователь считает их тектонически неделимыми. Но они делимы: это совокупности структурных поверхностей; кроме того, они состоят из двух крыльев; складки с ундулирующими шарнирами расчленены благодаря этому обстоятельству на звенья.

Геологические формы

Форма, точнее, внешняя форма — внешнее очертание тела, геометрия внешней границы тела. Она значительно более подвержена влиянию окружающей среды, чем его структура и состав, определяющие таксономический вид тела. Тела одного вида в ряде случаев полиморфны: они имеют разные собственные формы (идиоформы)*. То есть форма нередко включает в себе генетическую информацию об условиях окружающей среды. Это обстоятельство используется при поисках полезных ископаемых (кристалломорфологический метод). Однако по мере роста уровня организации тел роль полиморфизма, по-видимому, понижается.

Одна из основных задач изучения внешней формы — выяснение морфологических законов и закономерностей, возможно, аналогичных кристалломорфологическому закону постоянства граничных углов. В этой связи отметим, что слабо исследованы возможности выявления эволюционных законов стратисферы. Ибо изучался в основном состав тел, отчасти структура, и почти не выявлены формы, размеры и количественные соотношения крупных тел. При поиске такого рода упорядоченности также рационально применение подходов, указанных в предыдущем разделе.

* Еще чаще тела имеют разнообразные несобственные формы (ксеноформы).

Внешняя форма фиксирована поверхностями, линиями, точками и обладает определенным строением, которое в отличие от структуры тела называют структурой границы тела и морфологической структурой. Например, октаэдр — форма, состоящая из 8 граней, соединенных определенным образом. Указанные поверхности, линии, точки не выражают прямо отношения между внутренними элементами тела. Поэтому внешняя форма тела ближе к чистой геометрии, чем его структура.

Термин «форма» в геологии обозначает обычно только внешнюю форму. Но в последнее десятилетие в результате сближения геологии с логико-философскими науками ситуация начинает меняться. В этих науках термин «форма» употребляется нередко не только для обозначения облика объектов, но и их внутренней формы, т. е. структуры. В геологию уже проник термин «формализация», который подразумевает прежде всего выявление структуры. Однако смысл этого термина в геологии несколько иной, ибо она менее абстрактная, более содержательная наука, чем, скажем, логика.

При изучении форм актуальны также проблемы выяснения связей между внутренней и внешней формами, между этими формами и составом, их использование для реконструкции генезиса и истории тел и геологического времени.

Заключение

В будущем можно ожидать появления синтетической науки о геологической форме, скажем, формальной (морфологической и структурной) геологии, которая обобщит результаты по изучению внутренних и внешних форм геологических тел всех уровней организации — от минералов до планет. Она, надо думать, выяснит общие формальные закономерности всех указанных уровней. Сейчас же частные структурные науки изучают только специфические закономерности — каждая для своего уровня. Можно предполагать, что формальная геология создаст и метаязык, который позволит избавиться от полисемии, омонимии и синонимии в учении о форме.

Но классификация внешних и внутренних форм возможна и в настоящее время. Причем создание единой классификации геометрических форм и структур — задача прикладной геометрии или математической геологии. Выяснению таксономии геологических форм и структур предшествует работа

по созданию инвентарных словарей и справочников. Частично она уже проделана (Справочник..., 1970; Формы..., 1974).

Итак, тело — не структура (ибо последняя, в отличие от тела, не характеризуется вещественным составом) и не форма. И случаи их отождествления, пусть только терминологического, прискорбны.

Тела, структуры, формы — узловые пункты многих проблем геологии, интерес к которым будет, несомненно, возрастать. Мы не стремились дать исчерпывающие решения этих проблем, а только попытались очертить некоторые из них.

ЛИТЕРАТУРА

Белоусов В. В. Структурная геология. Изд. 2. Изд-во Московского ун-та, 1971.

Боголепов К. В. К вопросу о тектонической номенклатуре и классификации основных структурных элементов земной коры. — «Геотектоника», 1974, № 4.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965.

Гарецкий Р. Г., Шлезингер А. Е., Яншин А. Л. Проблема фундамента молодых платформ. — В кн.: Строение фундамента молодых платформ. М., «Наука», 1972.

Геологический словарь. М., «Недра», 1973.

Громин В. И. О структурах геологических формаций. — В кн.: Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974.

Драгунов В. И. Онтологические аспекты геологии. — В кн.: Проблемы развития советской геологии. Л., 1971, (Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 177).

Драгунов В. И., Айнемер А. И., Васильев В. И. Основы анализа осадочных формаций. Л., «Недра», 1974.

Кедров Б. М. Общий ход познания вещества. — «Вопросы философии», 1965, № 4.

Косыгин В. И., Воронин Ю. А., Борукаев Ч. Б., Парфенов Л. М., Соловьев В. А. Геологическая структура. Опыт формализованного определения и описания. — «Геология и геофизика», 1966, № 11; 1967, № 8.

Косыгин Ю. А. Понятие структуры в геологических исследованиях. — «Геология и геофизика», 1970, № 4.

Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М., «Недра», 1974.

Лазаренко Е. К., Квитко И. С. О минералогической номенклатуре и терминологии. — В кн.: Кратк. тез. докл. к съезду Всесоюзн. минерал. об-ва. Л., 1971.

Овчинников Н. Ф. Структура и симметрия. — В кн.: Системные исследования. М., «Наука», 1969.

Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, «Наукова думка», 1966.

Потапов И. И. Схема классификации тектонических форм. — «Советская геология», 1960, № 8.

Справочник по тектонической терминологии. Под ред. Ю. А. Косыгина, Л. М. Парфенова. М., «Недра», 1970.

Формы геологических тел. Под ред. Ю. А. Косыгина, В. А. Кулындышева, В. А. Соловьева. Хабаровск, 1974.

Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., «Недра», 1973.

Четвериков Л. И. Понятие структуры, неоднородности и изменчивости в геологии. — В кн.: Философия и естествознание. Вып. 3. Изд-во Воронежского ун-та, 1971.

Эз В. В. Существуют ли складки скалывания и складки волочения? — «Геотектоника», 1969, № 3.

ОПЫТ СИСТЕМНО-СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА СТРОЕНИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Л. И. Четвериков

С позиции системно-структурного анализа (ССА) под телом полезного ископаемого (ТПИ) понимается сложное геологическое тело, ограниченное комбинированными геологическими границами (Косыгин, 1970) и представляющее собой природное, локально обособленное, генетически единое промышленное скопление полезного ископаемого (Четвериков, 1968). «Генетически единое» означает только то, что залежь, состоящая из генетически разных частей, рассматривается как состоящая из нескольких ТПИ. Часто при разведке и эксплуатации отдельные ТПИ выделяются на основе экономических (по-бортovому и минимально промышленному содержанию, по минимально промышленной мощности и т. д.) и даже горнотехнических границ. Подобное разграничение ТПИ недопустимо с позиции ССА, так как в этом случае в зависимости от выбираемых экономических и горнотехнических критериев (например, при разных минимально промышленном содержании и минимально промышленной мощности) один и тот же геологический объект может представлять собой или одно, или несколько самостоятельных ТПИ. В связи с этим обстоятельствами в определении ТПИ приходится специально оговаривать, при каких условиях и в каких границах ТПИ рассматривается как единый геологический объект.

ТПИ является очень сложным и многогранным геологическим объектом, обладающим большим количеством свойств и признаков, объектом, который невозможно всесторонне охватить и исследовать при помощи одного вида анализа. В настоящее время доминирующим является вещественный анализ (минералогический, петрохимический и т. д.). На основе этого анализа устанавливаются особенности вещественного

состава и строения, свойственные изучаемому ТПИ. Однако при этом выпадают из поля зрения другие стороны данного объекта, которые можно вскрыть только применив принципиально иной анализ. Например, увлечение вещественным анализом привело к концентрации внимания на специфике и различиях в вещественном составе и строении ТПИ. В свою очередь, это породило представление о невозможности построения общетиповой геологической модели строения ТПИ, ввиду того, что каждое конкретное ТПИ является уникальным объектом с позиции вещественного анализа. Системно-структурный анализ (ССА) позволяет решить эту задачу. Примем следующие исходные положения:

1. Геологический объект будем рассматривать как целое, представляющее собой определенную совокупность составляющих его частей — элементов данного целого (Четвериков, 1968, 1971).

2. Если геологический элемент выступает в качестве самостоятельного объекта изучения, то он оказывается, в свою очередь, состоящим из более мелких геологических элементов (Категории..., 1970; Четвериков, 1971).

3. Интерес представляет сам факт наличия подобных элементов на разных уровнях строения изучаемого геологического объекта и их взаимоотношения в пространстве и времени, индивидуализация элементов не проводится (Косыгин, 1970; Четвериков, 1971).

4. Геологическая структура понимается, как геометрическая характеристика взаиморасположения геологических элементов (Косыгин, 1970; Четвериков, 1971).

5. Анизотропия и симметрия геологической структуры используются в качестве ее основных показателей (Симметрия в природе, 1971; Четвериков, 1968, 1971).

Системно-структурный анализ тел полезных ископаемых показывает, что вне зависимости от генезиса и вещественного состава любое ТПИ представляет собой сложную иерархическую систему структурных уровней. В любом ТПИ при достаточно детальном его изучении всегда можно провести соответствующие геологические границы и таким образом разделить его на относительно крупные разнородные части, отличающиеся своим геологическим строением, формой, и что самое главное, степенью концентрации полезного ископаемого. Если изучение строения ТПИ проводится на первом структурном уровне (уровне ТПИ, рис. 1), то выделяемые части выступают в роли геологических эле-

ментов, т. е. рассматриваются как однородные, неделимые (Категории..., 1970; Четвериков, 1974). Пространственное взаиморасположение подобных геологических элементов образует геологическую структуру ТПИ. Взяв любой геологический элемент ТПИ и проведя его более детальное изучение, можно и в нем обнаружить разнородные детали, выражающие более мелкие особенности в концентрации полезного ископаемого. Таким образом вскрывается второй более глубокий структурный уровень в строении ТПИ со своими геологическими элементами и так далее (рис. 1).

Системно-структурная модель тел полезных ископаемых

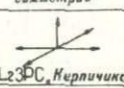
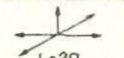
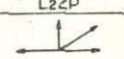
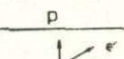
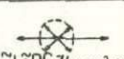
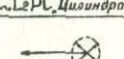
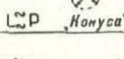
Структурные уровни концентраций полезного ископаемого в строении ТПИ			Типы геологических структур ТПИ			
Уровни	Геологические элементы	Тип	Анизотропия структуры		Симметрия	
			Оси	Индикатриса	Группа	Элементы симметрии
I	Уровень тела полезного ископаемого	I	Три ортогональные оси анизотропии	Трех осный эллипсоид или оваловид	1	
					2	
II	Уровень зоны или (по А. Б. Каждану) морфологически обособленного участка ТПИ	I	Три ортогональные оси анизотропии	Трех осный эллипсоид или оваловид	3	
					4	
III	Уровень текстуры руды или (по А. Б. Каждану) локального обособления полезного ископаемого	II	Две ортогональные оси, из которых одна ось вращения, а другая ориентирована по радиусу в плоскости вращения	Вытянутый оваловид или эллипсоид вращения / Сплюснутый оваловид или эллипсоид вращения	5	
					6	
IV	Уровень структуры руды или (по А. Б. Каждану) строения минерального агрегата	III	Одна ось, ориентированная по диаметру шара	Сфера шаровидной формы	7	

Рис. 1. Системно-структурная модель тел полезных ископаемых

Применение ССА позволило выделить четыре основных структурных уровня, отражающих разные уровни концентрации полезного ископаемого в строении ТПИ и таким образом обосновать общую для всех ТПИ геологическую системно-структурную модель их строения (Четвериков, 1968).

В дальнейшем А. Б. Кажданом (1974) трактовка этой модели была несколько расширена за счет введения более об-

щего «уровня строения минерализованной зоны (толщи)», на котором ТПИ выступает в роли геологических элементов, и дополнительного выделения наиболее глубокого «уровня строения минерального зерна или кристалла полезного ископаемого», на котором геологическими элементами являются «неоднородности отдельных мономинеральных зерен или кристаллов полезного ископаемого» (Каждан, 1974, стр. 30—31). Кроме этого, им было проведено сопоставление между «природными уровнями строения скоплений полезных ископаемых», выделенных на основе ССА, с «уровнями строения промышленных скоплений, выделяемых на основе геолого-экономических критериев» в практике поисково-разведочных работ, что позволило наполнить теоретическую системно-структурную модель ТПИ практическим содержанием (Каждан, 1974, стр. 62—67).

При ССА для характеристики структур геологических объектов могут быть использованы разные показатели. Классическим примером в этом отношении являются известные работы Е. С. Федорова по анализу и классификации кристаллических структур. По аналогии с кристаллической решеткой для характеристики геологических структур Ю. А. Косыгиным (1970) предложено понятие решетки геологической структуры. Морфологию подобной решетки, а также геометрическую форму и размер ее отдельной ячейки предлагается использовать в качестве показателя геологических структур.

В отличие от кристаллов с их геометрически правильными кристаллическими решетками, внутреннему строению ТПИ свойственно известное несовершенство, выражающее в отсутствии геометрически строгой упорядоченности, усугубляющееся непостоянством формы и размера отдельных элементов. Это не позволяет непосредственно использовать симметрию для выражения геометрических закономерностей структур ТПИ. Характеристикой, которая позволила бы сопоставлять структуры ТПИ между собой и при этом подчеркивала бы объективно присущие им геометрические правильности, является анизотропия геологических структур (Четвериков, 1968, 1971, 1972).

Анизотропия геологической структуры рассматривается, как различие в размещении слагающих ее геологических элементов, наблюдаемое в среднем по разным направлениям. Говорить об анизотропии геологической структуры можно только в статистическом плане, применительно ко всей структуре в целом. При анализе анизотропии учитывается только

специфика пространственного расположения геологических элементов и их геометрическая форма. В связи с этим одинаковую по типу анизотропию могут иметь геологические структуры, состоящие из качественно различных элементов, точно так же, как, например, разные по своему химическому составу, генезису и величине кристаллы могут иметь одинаковую оптическую анизотропию или один тип кристаллической решетки.

Количественная характеристика анизотропии невозможна без установления определенной меры. В качестве такой меры выступает величина $J = n/l$, представляющая собой отношение количества (n) геологических элементов, пересекаемых прямой линией условно проведенной в пределах изучаемой геологической структуры, к длине (l) этой линии. Графическим выражением анизотропии служит индикатриса анизотропии, представляющая эллипсоидную поверхность, мысленно помещенную в центре изучаемой структуры. Каждый радиус-вектор индикатрисы пропорционален статистически средней величине (J) меры анизотропии, наблюдаемой в направлении этого радиуса вектора. Оси индикатрисы соответствуют осям анизотропии. Показателем степени анизотропии структуры является величина $A = J_{\max}/J_{\min}$ представляющая отношение большой оси (J_{\max}) к малой оси (J_{\min}) анизотропии. Для практической оценки анизотропии реальных геологических структур и построения их индикатрис может быть использован простой палеточный способ, предложенный нами для оценки анизотропии наблюдаемой изменчивости параметров ТПИ (Четвериков, 1972). Анизотропия геологических структур может быть установлена и на основе их структурных решеток.

Количество и ориентировка осей анизотропии, форма индикатрисы и показатель степени анизотропии (A) позволяют сравнивать и классифицировать геологические структуры ТПИ. Подобные показатели имеют и большое практическое значение, так как очевидно, что геометрия разведочных сетей не должна противоречить анизотропии строения разведываемого ТПИ.

Анализ анизотропии геологических структур на разных уровнях строения ТПИ обнаруживает следующую общую закономерность. Оказывается, что несмотря на многообразие и качественные различия ТПИ, для всех них отчетливо выделяются три типа геологических структур, отличающиеся друг

от друга количеством осей анизотропии и общей формой индикатрисы анизотропии (см. рис. 1).

Для структур первого типа характерно наличие трех ортогональных осей анизотропии и индикатрисы анизотропии, имеющей форму трехосного эллипсоида или овалоида. Структуры второго типа имеют две ортогональные оси анизотропии и индикатрису в форме эллипсоида вращения или овалоида вращения. В этом случае одна из осей анизотропии является осью вращения индикатрисы, а другая оказывается ориентированной по радиусам центрального кругового сечения индикатрисы. Здесь можно выделить два подтипа. В одном — ось вращения эллипсоида или овалоида является наибольшей осью анизотропии. В другом — это наименьшая ось анизотропии. К третьему типу относятся изотропные и концентрически зональные структуры с индикатрисой сферической шаровидной формы и осью анизотропии, ориентированной по радиусам этой индикатрисы. Внутри одного типа анизотропии отдельные структуры отличаются по величине показателя анизотропии (A) и по конкретной форме и размеру индикатрисы. С увеличением значения A форма индикатрисы последовательно трансформируется из эллипсоида в овалоид. Интересно отметить, что в данном отношении наблюдается много общего между анизотропией структур ТПИ и оптической анизотропией кристаллов. В какой-то мере это и понятно, если считать, что оптическая анизотропия кристаллов отражает анизотропию кристаллической структуры. Интересно и другое. Первые же опыты определения с высказанных позиций анизотропии структуры геологических объектов планетарного масштаба показывают наличие тех же самых трех типов анизотропии. Например, анизотропия строения Земли и других планет относится к третьему типу. Анизотропия таких крупных горных сооружений как Урал, Сихотэ-Алинь, Кавказ и Закавказье — к первому типу, анизотропия строения отдельных вулканических аппаратов центрального типа — ко второму типу анизотропии геологических структур.

Все это наводит на мысль о том, что у геологических тел вообще имеют место общие типы анизотропии геологических структур. Исключением из этого правила являются отдельные дизъюнктивные тектонические структуры.

После рассмотрения анизотропии перейдем к анализу симметрии структур ТПИ. Ввиду разнообразия и несовершенства геологических структур подробный анализ возможен только на основе статистического подхода к симметрии, обос-

нованного И. И. Шафрановским (Шафрановский, 1956; Симметрия в природе, 1971). Большинство элементов структуры удовлетворяет данной симметрии, но имеются и элементы, отклоняющиеся от нее.

На рисунке (см. рис. 1) показаны две простые анизотропные структуры, выбранные исключительно из-за простоты их изображения и большей наглядности. Такие геологические структуры обычно возникают за счет расположения отдельных валунов, желваков и конкреций в осадочных рудах или отдельных рудных шпиров в гипогенных рудах. Для этих двух структур характерна одинаковая анизотропия, выражающаяся в отчетливо выраженной вертикальной оси анизотропии. Вместе с тем симметрия их различна. Структура I имеет симметрию цилиндра (т. е. имеют $L_{\infty}^2 L^2 \infty PC$), а структура II — симметрию конуса (т. е. $L_{\infty}^2 P$). Обратим внимание, что в том и другом случае все элементы симметрии оказываются тесно связанными с осью анизотропии. Ось бесконечного порядка (L_{∞}^2) совпадает с осью анизотропии. Оси второго порядка (L^2) и горизонтальная плоскость симметрии перпендикулярны оси анизотропии и проходят через располагающийся на ней центр симметрии (С). Все это делает возможным приписать симметрию данных структур осям их анизотропий, считая, что в первом случае ось анизотропии имеет симметрию полярного тензора, а во втором — полярного вектора (Шубников, 1949), т. е. соответственно симметрию цилиндра и конуса.

Графически удобно изображать тензорную ось анизотропии (т. е. ось анизотропии, обладающую симметрией полярного тензора) стрелкой заостренной с двух концов, а векторную ось анизотропии (т. е. ось анизотропии, обладающую симметрией полярного вектора) — стрелкой заостренной с одного конца (рис. 2).

Можно легко убедиться, что теоретически в любом случае отдельно взятой оси анизотропии (т. е. ось анизотропии, рассматриваемая изолированно от других осей и, следовательно, от анизотропии структуры в целом) будет свойственен один из двух указанных видов симметрии.

Симметрия структуры является суммарным результатом комбинаций симметрий, которыми обладают отдельные оси ее анизотропии. Согласно правилу П. Кюри (1966), «...при наложении нескольких явлений... в одной и той же системе... элементами симметрии системы остаются только те, которые

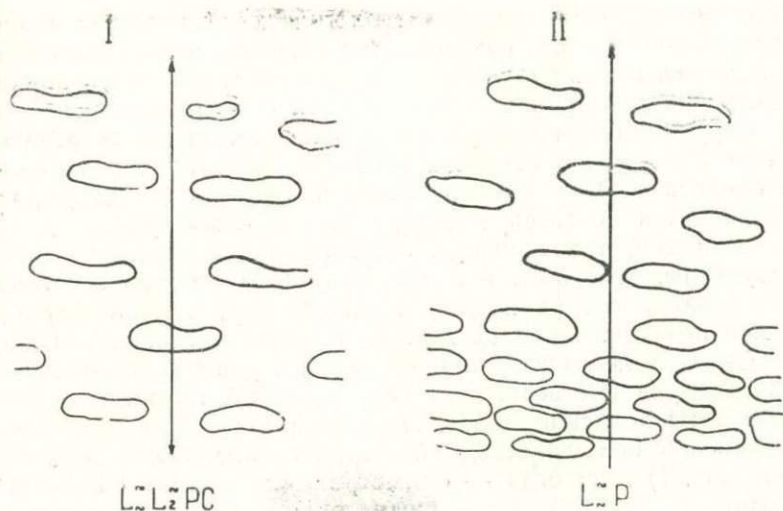


Рис. 2. Два возможных варианта симметрии отдельно взятой оси анизотропии

являются общими для каждого явления, взятого отдельно» (стр. 102).

Применяя данное правило, можно установить все теоретически возможные группы симметрии анизотропии структур (Симметрия в природе, 1971; Четвериков, 1968). Таких групп всего семь (см. рис. 1): четыре — у первого типа анизотропии, две — у второго и одна — у третьего.

В первом типе максимально возможная симметрия «кирпичика» наблюдается, когда все три оси являются тензорными осями анизотропии и элементы симметрии отсутствуют, когда оси векторные. Во втором типе симметрию определяет ось анизотропии, совпадающая с осью вращения индикатрисы. Для анизотропии изотропных и концентрически зональных структур (третий тип) характерна максимально возможная симметрия (Симметрия в природе, 1971; Шаfranовский, 1956).

Анализ реальных геологических структур на разных уровнях строения ТПИ показывает, что прежде чем производить подобный анализ конкретной структуры, необходимо четко уяснить: во-первых, к какому уровню строения ТПИ принадлежит эта структура, во-вторых, где проходят границы структуры (иначе, выделить объект исследования), в-третьих, что

рассматривается в качестве геологических элементов структуры и, в-четвертых, как проходят границы между элементами (иначе, выделить элементы структуры). Без этого анализ геологической структуры оказывается бессмысленным.

Структуры всех видов анизотропии и симметрии встречаются на всех уровнях строения ТПИ. На разных уровнях и даже в пределах одного уровня можно наблюдать структуры, отличающиеся по своей анизотропии или симметрии.

В общем, чем меньшую симметрию анизотропии имеют структуры, тем чаще они встречаются. Особенно отчетливо это проявляется на первом и втором уровне и значительно в меньшей степени — на третьем и четвертом уровне ТПИ.

Симметрия анизотропии структур отражает механизм их образования (Четвериков, 1968), или иначе геометрию их генезиса (Вернадский, 1965). Например, структуры осадочного генезиса в большинстве своем имеют симметрию «конуса» (см. рис. 1) и никогда — симметрию «цилиндра» (Дмитриев, Потапова, 1971). Нередко симметрию и даже анизотропию конкретной структуры не удается установить из-за малого количества образующих ее элементов. Это не означает, что анизотропия и симметрия вообще не имеют место для данной структуры. Они существуют потенциально. Если повторить образование такой структуры в подобных же условиях, то вполне возможно, что отдельные элементы окажутся расположенными по-иному, но согласно симметрии анизотропии, обусловливаемой геометрией генезиса этих структур, точнее согласно «характеристической симметрии механизма генезиса» этих структур (Четвериков, 1968). Поясним это на конкретном примере. На Сибирских месторождениях исландского шпата в шаровых лавах отдельные ТПИ представляют собой минерализованные зоны в шаровых диабазах (Андрусенко, 1971). Форма этих зон изометрическая в плане и линзовидная в разрезе. Геологическую структуру минерализованных зон на уровне ТПИ образует расположение в них гнезд исландского шпата, выступающих в данном случае в роли геологических элементов. Если рассматривать структуру конкретной зоны, то из-за малого количества гнезд и элемента случайности в их расположении сказать что-либо определенное в отношении анизотропии структуры невозможно. Однако, если изобразить в плане и в разрезе несколько таких зон в одном размере, а затем совместить их друг с другом, то получаемое подобным образом суммарное расположение гнезд исландского шпата фиксирует наличие анизотропии второго

типа с индикатрисой вытянутой формы и с симметрией, относимой к пятой группе (симметрии «конуса», (см. рис. 1).

В заключение следует обратить внимание на следующее. При ССА реальных ТПИ и выражении их в рамках предложенной системно-структурной модели (см. рис. 1) необходимо иметь в виду, что то и другое основывается на строго определенных исходных условиях. Изменение хотя бы одного из них делает невозможным применение ССА в том виде, как он здесь изложен. В реальных ТПИ не обязательно должны присутствовать четыре названных структурных уровня концентрации полезного ископаемого и все указанные типы анизотропии и группы симметрии геологических структур. Количество уровней может быть меньшим или даже большим в зависимости от специфики генезиса конкретного ТПИ. Подобный подход может быть применен и к изучению строения других геологических объектов. Однако это оказывается возможным только тогда, когда заранее установлены объективные критерии, позволяющие выделять как сами изучаемые объекты, так и отдельные структурные уровни внутри их.

ЛИТЕРАТУРА

Андрусенко Н. И. Минералогия и генезис пелланского шпата Сибирской платформы. М., «Недра», 1971.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965.

Дмитриев Г. А., Потапова М. С. Учение о симметрии как общий метод познания закономерностей развития Земли. — В кн.: Пути познания Земли. М., «Наука», 1971.

Каждан А. Б. Методологические основы разведки месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1974.

Категории диалектики и методология современной науки. Изд-во Воронежского ун-та, 1970.

Косыгин Ю. А. Понятие структуры в геологических исследованиях. — «Геология и геофизика», 1970, № 4.

Кюри П. О. О симметрии в физических явлениях. М., «Наука», 1966. Симметрия в природе. — В кн.: Тезисы докладов. Л., ЦКОП ВСЕГЕИ, 1971.

Четвериков Л. И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. Изд-во Воронежского ун-та, 1968.

Четвериков Л. И. Понятие структуры, неоднородности и изменчивости в геологии. — В кн.: Философия и естествознание. Изд-во Воронежского ун-та, 1971.

Четвериков Л. И. Оценка анизотропии наблюдаемой изменчивости параметров тел полезных ископаемых. — «Горный журнал», 1972, № 4.

Четвериков Л. И. Некоторые методологические вопросы современной геологии. — В кн.: Философские науки, 1974, № 1.

Шафрановский И. И. Группы симметрии в структурной петрологии. — «Зап. Всесоюзн. минер. об-ва», 1956, ч. 85, вып. 4.

Шубников А. В. Симметрия векторов и тензоров. — «Изв. АН СССР. Сер. физ.», 1949, вып. 13, т. 13, № 3.

ОБЪЕКТ—ЛЕГЕНДА—КАРТА И ПРОБЛЕМА МОДЕЛИ В ТЕКТЕНИКЕ

В. Ю. Забродин, В. А. Кулындышев, В. А. Соловьев

Как и другие науки, тектоника взаимодействует со своими объектами через модели. Что же выступает моделями в тектонике? Какова роль здесь тектонических карт? Как соотносятся понятия объект—легенда—карта? Обобщая теоретические разработки в области тектонического картирования, авторы разработали методологическую схему геокартирования (см. рисунок). Поясняя эту схему, отметим следующее.

В качестве объектов в тектонике выступают тела планетарного уровня организации вещества (формации, формационные ряды, геосферы). Тектоника изучает их с целью познания структуры, т. е. отношений между составляющими данное тело элементами. Таким образом, модели структур составляют предмет тектоники. Попытка конкретизировать понятие модели в тектонике неизбежно приводит к тому, что моделями выступают тектонические систематики, или классификации. Их представляют либо в чистом виде, когда исследователь дает систематику в форме таблицы или блок-схемы, или в виде легенды к тектонической карте. И так, оказывается, модели в тектонике представлены систематиками, часто заключенными в легендах к картам. Осознание роли легенд, как разновидностей моделей, имеет практическое значение. Действительно, существует иллюзия, что геологическую или тектоническую карту можно построить, не руководствуясь никакой легендой, основываясь лишь на эмпирическом материале, полученном при наблюдениях в поле (рисунок, фиг. а). Методологический анализ геокартирования опровергает такую установку.

Геолог никогда не пытается перенести на карту объект «непосредственно». Сначала у него возникает какое-то представление об объекте. В этом представлении, которое обязательно является неполным, происходит абстрагирование от каких-то реальных свойств объекта. Для того, чтобы перене-

сти это уже абстрагированное представление на карту, нужно предварительно систематизировать свои знания об объекте. Это представление закрепляется легендой будущей геологической или тектонической карты (рисунок, фиг. б). Для непосредственного картирования у геолога уже должно быть соображение о том, как именно и какими условными знаками он будет пользоваться, т. е. какое будет представление об «алфавите» языка будущей карты.



Традиционное представление о взаимоотношениях объекта и моделей в геологии (а) и фактический путь построения геологической карты (б)

Таким образом, мы приходим к выводу, что путь создания любой геологической карты — это путь последовательного построения ряда моделей, первой из которых является легенда. Лишь после построения первичной легенды и основываясь на ней строится либо геологическая карта и разрезы к ней, либо легенда геологической карты следующего поколения.

В соответствии с разработанной нами методологической схемой геокартирования карта и такие ее элементы, как колонка и разрезы выступают как графическое изображение модели, заключенной в той же легенде карты.

СПЕЦИФИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В. С. Смирнов

С понятием моделирования связан традиционный подход к решению многих задач прикладной геофизики. Геофизические исследования в целом можно рассматривать как процесс моделирования в широком смысле этого слова, при этом наиболее полно и наглядно модельный характер геофизических построений выражен на уровне количественной интер-

претацни. Необходимость модельных представлений среды, физического поля является исходным тезисом в частной методологической схеме В. Н. Страхова (1974), который в разной мере следует относить ко всем геофизическим методам.

В ряде случаев моделирование трактуется довольно узко как некоторый вспомогательный прием, а иногда просто сводится к вещественному, физическому моделированию. Однако центральное место в процессе исследования занимают, на наш взгляд, идеальные, теоретические модели, отличающиеся наиболее высокой степенью обобщения. На основе таких моделей, т. е. специальным образом поставленных частных задач макроскопической физики в неоднородных средах строится теория геофизических методов (Шейнманн, 1969). По-видимому, правомерно и определение этих моделей как математических, хотя такое название скорее соответствует способу их выражения, единственно приемлемому для анализа.

Классы моделей неоднородных сред, используемые для количественной интерпретации, ограничены возможностями современного математического аппарата, причем в неодинаковой степени по отношению к различным геофизическим методам, что в известной мере разделяет области их успешного применения. Весьма конструктивным с точки зрения оценки и сопоставления принципиальных возможностей отдельных методов является определение геофизических моделей как функционально-структурных (Глинский и др., 1965). Действительно, непосредственному анализу здесь подвергается физическое поле, функционально зависящее от структуры исследуемого объекта. На основе подобия функций модели и оригинала устанавливается более или менее однозначно подобие структур, и таким образом изучаются не просто физические свойства среды, а их пространственная неоднородность, физическая структура объекта.

В функционально-структурной геофизической модели можно выделить следующие основные элементы:

1. Модель среды, строящаяся с привлечением априорных данных о физической структуре объекта и отражающая обычно в геометрически идеализированном виде определенный тип геологических структур.

2. Модель источника поля, в частном случае тождественная модели среды. Модели обособленных источников в отличие от моделей среды, как правило, достаточно точно воспроизводят оригинал.

3. Модель физического поля, отвечающего данному методу, рассматривается как функция моделей среды и источника.

4. Исходный физический закон, выступающий в качестве связующего звена между средой и источником при построении модели физического поля. Служит элементарной характеристикой поля, не зависящей от частных моделей среды и источника. С точки зрения макроскопической физики имеет смысл относительно стабильной и всеобщей модели, соответствие которой реальности в рамках геофизических приложений считается вполне строгим. Исключение составляет метод вызванной поляризации (Шейнманн, 1969), использующий во многом формально, электрохимические явления в многофазных средах. Природа этих явлений, по-видимому, существенным образом связана с микроструктурой объекта и в настоящее время слабо изучена теоретически.

По отношению к каждому из указанных элементов можно говорить о структуре как о некоторой внутренне упорядоченной, не зависящей от способа выражения и полностью детерминирующей характеристике пространственно-временной (в общем случае) неоднородности их содержательных параметров. Наиболее доступной на наш взгляд, но, возможно, не единственной должна быть геометрическая интерпретация структуры среды и физического поля. Структуру обособленного источника будем связывать со структурой поля этого источника в нормализованной (однородной) среде. Структура физического закона определяется структурой поля элементарного источника и (или) дифференциальным фрагментом структуры поля безотносительно источника.

При оценке функционально-структурной модели необходимо учитывать ряд внешних факторов, хотя и не участвующих в синтезе модели физического поля, но ограничивающих пространственно-временную область предполагаемых его наблюдений. С одной стороны это ограничение носит объективный характер (наблюдения на земной поверхности), в то же время может рассматриваться как целенаправленный выбор оптимальной для извлечения информации системы наблюдений, наилучшим образом отвечающей данным моделям среды и источника. Анализ обобщенных теоретических моделей обычно приспособлен к условиям их реализации.

Цикл функционально-структурного моделирования образует стандартная последовательность геофизических приемов, особенности которых хорошо известны и не требуют пояснений:

1. Выбор обобщенной модели (класса моделей) среды на основе предшествующих данных о физической структуре оригинала и подходящей модели источника поля.

2. Построение обобщенной функции — модели физического поля (решение прямой задачи).

3. Установление качественного сходства теоретически моделируемого и реально наблюдаемого полей, свидетельствующего о правомерности выбора данного класса моделей среды.

4. Определение абсолютного подобия функций модели и оригинала и выделение из данного класса конкретной модели среды (решение обратной задачи).

Фиксируемые качественные и количественные несоответствия модели и оригинала позволяют уточнить, обоснованно изменить исходные представления, — и цикл повторяется.

Здесь мы не касаемся вопросов геологического истолкования физических моделей среды, которые должны явиться предметом специального обсуждения.

Следует отметить, что в настоящее время в теории интерпретации геофизических данных получает развитие более общий, в значительной мере дедуктивный подход, связанный с методами аналитического продолжения полей (Жданов, 1974). Эти методы требуют существенно меньше априорных сведений о физической структуре объекта и не ограничены определенными классами моделей среды. Тем не менее модельный характер исследования здесь сохраняется. Получаемая при непосредственной интерпретации практически конечная совокупность эффективных источников аномалии по существу является не строго эквивалентной моделью реальной физической неоднородности среды и, по-видимому, еще не окончательным результатом решения обратной задачи. Кроме того, в методах продолжения обычно вводится предположение о (горизонтальной) однородности среды вне (выше уровня) возмущающих объектов. Очевидно, эффекты неоднородностей второстепенного значения подвергаются при этом сглаживанию.

Будем различать физически одностороннюю и однозначную связь элементов функционально-структурной модели и аналогичную связь элементов оригинала, выраженную на этапе решения прямой задачи, и взаимообусловленность гносеологического характера, свойственную лишь элементам модели и проявляющуюся в наиболее четком виде при решении обратной задачи. Последняя естественным образом учитывает

физическую связь и на уровне количественной интерпретации регулируется возможностями математического аппарата.

При описании каждого элемента модели в пространственно-временных координатах используется тот или иной класс математических функций, относительная простота или сложность которых соответствует простоте или сложности структуры этих элементов. Структура физического поля представляет результат наложения структур физического закона, обособленного источника и исследуемой среды и воспроизводит их особенности. Математическое описание модели физического поля в общем случае становится более сложным по сравнению с описанием каждого элемента. Допустимый для нас верхний предел этой сложности, различный при решении прямой и обратной задачи, устанавливает динамическое соответствие сложности структур исходных элементов модели. Усложняя структуру одного элемента, мы должны принять более простую по структуре модель другого элемента, чтобы математическое описание структуры физического поля не превысило допустимый предел. Сходство, совпадение таких структурных признаков элементов модели как симметрия, взаимная упорядоченность пространственного положения моделей среды и обособленного источника действуют в сторону упрощения структуры физического поля, а следовательно, и его описания. Прежде всего это проявляется в том, что легко выбрать единую систему координат, удобную для описания всех элементов модели.

Подобная закономерность прослеживается во многих конкретных геофизических задачах. Характерным примером являются потенциальные методы (гравимагниторазведка), отличающиеся наиболее простым физическим законом. Модели среды и источника выступают здесь как одно целое, благодаря чему решение прямой задачи проводится путем суперпозиции эффектов от элементарных объемов среды (элементарных источников), что допускает применение относительно сложных моделей, в том числе и при решении обратной задачи.

Здесь же находим объяснение физической мощности эквивалентности. Модель среды можно представить в виде совокупности симметричных элементов, «вписывающихся» в симметрию физического закона. Каждому из этих элементов соответствует множество ему эквивалентных, вызывающих одинаковый эффект в физическом поле. Суперпозиции элементарных полей отвечает совокупная эквивалентная модель, для которой возможна оценка обобщенных параметров от-

дельных элементов. Чем меньше разбиений требуется для представления модели среды симметричными элементами, тем менее подробно она определяется при решении обратной задачи. Наиболее явное выражение эквивалентности имеем в случае геометрически простейших моделей среды, выступающих как один симметричный элемент. Можно упомянуть еще тот очевидный факт, что горизонтально-слоистые модели среды не исследуются гравимагнитными методами при наземных наблюдениях. По-видимому, простые особенности структуры среды оказываются в силу строгой эквивалентности малодоступными для изучения такими «простыми» методами.

Противоположная ситуация возникает при использовании обособленных источников, переменных полей. Хорошей иллюстрацией служат электромагнитные методы, основанные на анализе более сложной пространственно-временной структуры поля. Их теория достаточно полно разработана лишь для горизонтально-слоистых моделей среды (методы зондирования), причем единственное решение прямой задачи, выражающееся в элементарных функциях, получено для модели плоской электромагнитной волны (магнитотеллурическая модель). Характерно, что строгая эквивалентность проявляется лишь в случае однородного полупространства на фазовых кривых магнитотеллурического зондирования. Исследование горизонтально-слоистых разрезов удается именно благодаря возможности вариации временной, либо пространственной структуры источника (индукционное и геометрическое зондирование). В то же время расчет и анализ электромагнитных полей в горизонтально-неоднородных средах сопряжены с большими математическими трудностями. Основные выводы:

1. Множество моделей неоднородных сред, используемых для количественной интерпретации, ограничено с одной стороны возможностями математического аппарата, с другой — действием принципа эквивалентности.

2. Некоторая оптимальная сложность структуры физического поля определяется взаимодействием противоположных факторов: сходством, совпадением структурных особенностей элементов функционально-структурной модели, действующим в сторону упрощения функции и в предельном случае приводящим к потере информации, и их различием, вызывающим усложнение функции и в конечном счете избыток информации, уже не поддающийся количественному анализу.

3. Структурное соответствие моделей изучаемой среды и геофизических методов (модель источника поля, физический

закон) представляет тенденцию обратной связи, которая в пределе сводится к следующему: простые и только простые особенности структуры среды доступны для количественного изучения «сложными» методами. Аналогичное соотношение имеем для сложных структур и «простых» методов.

ЛИТЕРАТУРА

Глинский Б. А., Грязнов Б. С., Дынин Б. С., Никитин Е. П. Моделирование, как метод научного исследования (гносеологический анализ). М., Изд-во Моск. ун-та, 1965.

Жданов М. С. О едином подходе к проблеме интерпретации геофизических аномалий на основе методов продолжения полей. — «Геология и геофизика», 1974, № 10.

Страхов В. Н. Основы методологии интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. — В кн.: Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии», Алма-Ата, 1974.

Шейнманн С. М. Современные физические основы теории электроразведки. Л., «Недра», 1969.

ДИЗЬЮНКТИВ КАК СИСТЕМА

В. Ю. Забродин

Термином «дизьюнктив» обозначается широкое понятие, охватывающее большой круг тектонических объектов, называемых также «разрывными нарушениями» или «дизьюнктивными дислокациями». Оно включает классы объектов от кливажа до глубинных разломов, рифтовых зон, трансформных разломов и зон Бениоффа. Можно выделить три основных направления исследования дизьюнктивов:

1. Изучение отдельных частей дизьюнктивов или отдельных геологических тел, входящих в состав зон дизьюнктивов. Таковы, к примеру, работы, посвященные изучению минерального выполнения зон дизьюнктивов, описанию офиолитовых поясов, метаморфических формаций зон глубинных разломов, изучению различных тектонитов методами микроструктурного анализа и т. д. Работы такого типа численно преобладают в литературе по дизьюнктивам. Характерная особенность работ этого плана — отсутствие анализа связей между исследуемым объектом и остальными частями дизьюнктива (о них зачастую даже не упоминается).

2. Изучение дизьюнктивов как некоторых систем, состоящих из разного числа структурных элементов, объединенных

какими-либо связями. Таких работ значительно меньше, чем работ первого направления. В качестве примера можно привести анализ Р. И. Гришкяном (1970) некоторых разрывов Алданского щита.

3. Изучение внешней геометрии поверхностей разрывов, т. е. их поведения в пространстве. Работы этого направления в последние годы появляются редко, хотя во всех учебных пособиях по структурной геологии этот признак зачастую кладется в основы классификаций.

Такое выделение направлений находится в соответствии с требованиями общей теории систем, согласно которым некоторый объект можно изучать в целом, не разделяя его на какие-либо части или элементы, и как целое, рассматривая его как систему взаимосвязанных элементов. Наконец, можно изучать весь объект как совокупность частей, отвлекаясь от их взаимосвязей. Терминология принята по А. Л. Зельманову (1960) и Г. И. Наану (1967).

Анализ существующих в настоящее время определений дизъюнктивов любого ранга показывает, что практически все они формулируются как «разрывы сплошности геологических тел». Эти определения, в общем, верны, но некоторые категории дизъюнктивов («вязкие» разрывы — Паталаха, 1970; Громин, 1970; и др.) такими определениями не охватываются. Кроме того, вызывает сомнения применимость определений указанного типа к глубинным разломам. Эти определения никак не фиксируют того важного обстоятельства, что дизъюнктивы являются геологическими телами. Между тем, даже на низшем уровне (кливаж) можно говорить о вещественном выполнении дизъюнктива; чем крупнее дизъюнктив, тем более необходимым становится изучение его вещественного состава. Различные жилы, дайки, крупные магматические тела, офиолитовые пояса, пояса батолитов; глины трения, тектонические брекчии, катаклазиты, милониты, сланцы, гнейсы — все это охватывается категорией дизъюнктивов. Но, поскольку в дизъюнктивах разных рангов вещественное выполнение различается достаточно сильно, такой признак не может быть введен в определение. Поэтому, кроме того, что дизъюнктив является телом, ничего в определении не скажешь.

Инвариантным свойством всех без исключения категорий дизъюнктивов является то, что они служат границами геологических тел, что в свое время было зафиксировано Ю. А. Косыгиным с соавторами (1964), выделившими особый тип

дизъюнктивных границ. Для границы же с точки зрения геометрии определяющим является то, что размерность ее ниже размерности тела, которое она ограничивает.

Можно предложить следующее определение: дизъюнктивами называются любые трехмерные безусловные линейные геологические тела, которые при выборе некоторого масштаба модели геологического пространства могут рассматриваться в качестве геологических границ.

Это определение утверждает, что при построении моделей геологических тел для некоторой категории последних, именуемых «дизъюнктивами», можно абстрагироваться от их ширины, считая ее равной нулю. Поясним выражение «выбор некоторого масштаба». Трещины кливажа практически при любом масштабе модели (даже 1:1) изображаются не имеющими ширины, хотя микроскопические исследования показывают обратное. В то же время зоны глубинных разломов, например, на картах любого масштаба, вплоть до обзорных карт континентов, невозможно показать не имеющими ширины. Однако на картах континентов или Земли в целом уже возможно абстрагирование от ширины глубинных разломов, так как на этих картах в первую очередь важно не то, что глубинные разломы являются геологическими телами, а то, что они являются границами.

Если учесть сделанные выше пояснения, становится ясным, почему в определение вошли только признаки, характеризующие дизъюнктивы в целом. Признаки, определяющие данный класс объектов как целое, существенны для классификационных построений.

Приведенное определение далеко не так тривиально, как кажется на первый взгляд. Действительно, под него не подпадают, к примеру, такие линейные тела, как «геосинклинали» или «дайки», ибо не имеет смысла рассматривать их не имеющими ширины, т. е., в конечном счете, без учета их вещественного выполнения. Это зафиксировано в методических требованиях к составлению геологических карт, на которых «дайки» (или другие вещественные линейные объекты), не выражающиеся в масштабе карты, показываются не просто линией, а условным знаком «вне масштаба». В то же время и геосинклинали, и дайки могут рассматриваться (с некоторыми допущениями) в качестве вещественного выполнения дизъюнктивов — при изучении структуры последних (т. е. как целого).

Приведенное определение позволяет разграничивать на моделях такие геологические тела, как геосинклинали и платформы, структурно-формационные зоны, антиклинории и синклинории, микролитоны и т. д. Без этого во многих случаях нельзя исследовать структуру тектонического объекта из-за невозможности выделить структурные элементы (когда все другие границы, кроме дизъюнктивов, являются условными или произвольными).

Исследование дизъюнктивов в целом предусматривает в качестве главной задачи изучение их геометрических свойств (в первую очередь топологических и дифференциальных — Салин, Соловьев, 1974). При этом конечно, мало интересно такое исследование на двумерных моделях, где дизъюнктивы представляются линиями. Гораздо более содержательным оно представляется в трехмерных моделях. Дизъюнктивы, представляемые в таких моделях поверхностями, следует характеризовать как с точки зрения внутренней геометрии их (как двумерных многообразий), так и с точки зрения объемлющего пространства (внешняя геометрия). Таких исследований в тектонике пока очень мало. Между тем представляло бы большой интерес исследование внешней геометрии поверхностей покровов, шарьяжей и т. п., отношений между их крыльями и т. д.

На множестве дизъюнктивов в целом можно ввести иерархию по величине — от кливажа до глубинных разломов и зон Бениоффа. Следуя общепринятым представлениям структурной геологии, выделим 4 крупные группы дизъюнктивов: а) кливаж; б) трещины; в) разломы; г) глубинные разломы (отнеся к последним рифтовые зоны, трансформные разломы и т. п. Эти группы дизъюнктивов позволяют разграничивать тела на уровнях: а) микролитонов; б) пород; в) формаций или групп формаций; г) формационных комплексов соответственно. О. А. Вотахом (1972) выделено 10 рангов планетарного уровня организации вещества. Если априори предположить, что каждому рангу должны соответствовать свои структурные отношения, следует ожидать существования по меньшей мере 10 классов дизъюнктивов. Установление их — задача будущего. Можно указать, к примеру, что на уровне минералов в качестве дизъюнктивов, видимо, следует рассматривать плоскости двойникования; однако тектоника такие объекты не изучает, это предмет структурной петрологии. Замечу, кстати, что введенное определение дизъюнктивов исключает споры о том, что такое кливаж — способность пород

раскалываться или разновидность трещиноватости (в пользу последнего).

Изучение дизъюнктивов «в целом» является односторонним. Полное понятие о дизъюнктиве как геологическом объекте можно получить, лишь рассматривая его и «в целом» и «как целое».

Инвариантные свойства, присущие всему классу дизъюнктивов, отражают структурный изоморфизм, существующий между дизъюнктивами разных уровней. (Это можно использовать при изучении крупных или сложно построенных дизъюнктивов, исследуя в качестве их моделей модели небольших или сравнительно просто построенных. Так, какие-то черты глубинных разломов с офиолитовыми поясами можно установить, изучая небольшой разлом с выполняющей его дайкой. В частности, возможно получение некоторых заключений ретроспективного характера (механизм формирования и т. д.).

Таким образом, исследование любого достаточно сложного объекта как системы начинается со «всего объекта», затем следует изучение «объекта как целого». Это соответствует повышению уровня абстракции в процессе исследования. В частности, в теории дизъюнктивов исследование «всего дизъюнктива» отражает низшую ступень абстракции (изучаются отдельные элементы, причем это изучение может простирается вглубь сколь угодно далеко); описание дизъюнктива как целого предполагает абстрагирование от многих свойств этих элементов, зато на первый план выступают связи между ними; наконец, исследование дизъюнктива в целом предполагает в основном изучение его чисто геометрических характеристик да притом еще и размерность дизъюнктива как тела искусственно понижается.

Я благодарен Ю. С. Салину, В. А. Соловьеву и особенно Р. Ф. Черкасову за обсуждение вопросов, затронутых в статье.

ЛИТЕРАТУРА

Вотах О. А. Элементарные тектонические комплексы земной коры и геологические формации. — «Геология и геофизика», 1972, № 8, с. 10—20.

Гришкян Р. И. Новые данные о строении и развитии систем докембрийских разломов решетчатого типа на Алданском щите. — В кн.: Вопросы тектоники докембрия континентов. М., «Наука», 1970.

Громин В. И. Малые структурные формы и палеорологические реконструкции. М., «Наука», 1970, 142 с.

Зельманов А. Л. К постановке космологической проблемы. — Тр. второго съезда ВАГО. М., 1960, с. 100—105.

Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А., Соловьев В. А. Опыт формализации некоторых тектонических понятий. — «Геология и геофизика», 1964, № 1, с. 23—37.

Наан Г. И. Типы бесконечного. В кн.: Эйнштейновский сборник. — 1967. М., «Наука», 1967, с. 287—307.

Паталаха Е. И. Механизм возникновения структур течения в зонах смятия. Казахская ССР, Алма-Ата, «Наука», 1970, 215 с.

Салин Ю. С., Соловьев В. А. Геология и геометрия. — В кн.: Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974, с. 53—73.

УРОВЕННЫЙ ПОДХОД ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В. В. Давиденко

В исследованиях, базирующихся на уровненом подходе, основополагающим является понятие — «объект изучения». С переходом от уровня к уровню смысл этого понятия меняется, что обуславливает изменение и способов анализа объекта.

Проиллюстрируем это положение соответствующими примерами:

1. Прогнозные работы подразделяют на глобальные, региональные, мелкомасштабные, среднемасштабные, детальные и специализированные (внемасштабные) (см. таблицу). Оказывается, что они довольно четко различаются в этом отношении. Действительно, при работах в рамках первого масштаба решаются задачи оценки крупных площадей; на самом низком, детальном уровне, оперируют иногда отдельными рудными телами (или их участками) и выполняют оценку рудоносности более мелких элементов структур. Естественно, что на самом высоком уровне используются сведения, характеризующие крупные по размерам участки прогнозируемых территорий, а на самом низком — следует пользоваться наиболее детальными характеристиками. Следовательно, существующая методика прогнозных построений обладает четким уровнем делением.

2. Уровеньный подход предполагает и современная методология познания, выдвигая принцип разложения сложных явлений на «элементарные процессы» (Боровиков и др., 1972). Исключительно важным для целей уровеньного подхода является требование методологии о соразмерности изучаемых объектов (Косыгин, 1970). Соразмерность следует понимать

как «одномасштабность» или «однопорядковость». Если, например, при работах какого-либо масштаба описывается приуроченность месторождений к антиклиналям, то соразмерным этому понятию является синклиналь, а понятия «антиклинорий» и «синклинорий» для этого уровня употреблять уже не следует.

3. Уровненный подход проявляется, например, во французской поисково-информационной системе (Абрамович и др., 1972), в которой формализованное описание дается по двум элементам — типу системы и ее структуре. Оба эти элемента указываются для четырех порядков: минерализованное тело, рудный район, рудное поле и площадь. Ряд соподчиненных этапов выделяется при структурно-металлогенических исследованиях.

4. Уровненный подход связан с концепцией организации вещества, в соответствии с которой выделяются геологические формации, толщи пород, породы, минералы, элементы и т. д. Действительно, геологические формации изучаются при работах мелких масштабов (региональный уровень исследования); толщи пород — объекты исследований, главным образом, масштаба 1:200000; конкретные горные породы (и их ассоциации) исследуются только в масштабе 1:50000 и крупнее и т. д. Масштабы геологических работ довольно хорошо соответствуют уровням организации вещества, которые, очевидно, следует признать естественными.

Выводы, которые следуют из признания уровенного характера исследований, имеют важное значение, но им не уделяется должного внимания, что видно хотя бы на примере такого распространенного понятия рудной геологии как «месторождение».

Понятие «месторождение» (как скопление полезного ископаемого) в подавляющем большинстве случаев заключает в себе смысл о промышленном характере залежи. Такое «потребительное» отношение к этому понятию делает его очень неустойчивым из-за частых колебаний, требований к минеральному сырью (конъюнктурные данные, изменения технологии переработки или способов отработки и т. д.). В практике поисковых и разведочных работ практически не оперируют этим понятием, а выделяют сначала перспективный участок и лишь впоследствии (на стадии разведки) оценивают его промышленное значение. Подчеркивая промышленную ценность объекта, мы выпускаем из поля зрения огромное число месторождений, перспективы которых или не

Соотношение геологических, металлогенических,

Уровни исследований (детальность)	Соотношение геологических, металлогенических,	
	Геологические элементы анализа (объекты)	Металлогенические элементы
Глобальный (мельче 1:1500000)	Складчатый пояс	металлогенический пояс
Региональный (мельче 1:500000)	складчатая система	металлогеническая провинция
	структурно-формационная зона; структурно-фациальная зона; складчатая зона;	металлогеническая зона
	геологическая формация	рудная область
Мелкомасштабный (мельче 1:50000)	геологическое тело; группа геологических тел	рудный район (рудный узел)

прогнозных и рудных элементов

Прогнозные элементы		Рудные элементы	
геологические	металлогенические	промышленные	геологические
складчатая система	металлогеническая провинция	промышленно важная и экономически рентабельная минерализация на уровне рудных минералов, рудных элементов или их ассоциаций (минеральных и элементных)	общая и специфическая рудная минерализация на уровне рудных минералов, рудных элементов или их ассоциаций
структурно-формационная зона; структурно-фациальная зона; складчатая зона;	металлогеническая зона		
геологическая формация	рудная область		
структурно-формационная зона; структурно-фациальная зона; складчатая зона;	металлогеническая зона		
геологическое тело; группа геологических тел	рудный район (рудный узел)		
элементарное геологическое тело; группа элементарных геологических тел	рудное поле (рудный узел)		
участок геологического пространства	рудные участки (блоки)		

Уровни исследований (детальность)	Геологические элементы		Металлогенические элементы	
	анализа (объекты)			
Среднемасштабный (мельче 1:10000)	элементарное геологическ. тело, группа элементарн. геол. тел		рудное тело (рудный узел)	
	участок геологического пространства		рудные участки (блоки)	
Детальный (1:10000 и крупнее)	участок геологического пространства		минерализованные (рудные участки) месторождения, рудопроявления, точки минерализации, рудные тела	
Специализированное изучение (тематические и др. работы)	ассоциации пород минералов и структурных элементов		минерализованные (рудные) концентрации (ореолы, рудные тела, или их части, участки изменений, аномалий и т. д.)	

ясны, или они промышленно не интересны. Это приводит к тому, что анализу подвергаются лишь промышленно важные месторождения. В Казахстане, например, менее одной сотой всех рудных скоплений свинца и цинка поставлено на баланс.

Сохраняя термин «месторождение», как более привычный, раскроем его содержание, используя принцип уровенного подхода.

Прогнозные элементы		Рудные элементы	
геологические	металлогенические	промышленные	геологические
участок геологического пространства	минерализованные участки		
породные (минеральные) и структурные ассоциации перспективных частей участка геологического пространства	минеральные концентрации		
заключения о строении рудной части и вмещающей среды месторождения; о масштабе оруденения; формирование генетических гипотез и т. д.			

В структуре месторождения следует выделять две главные части: вмещающую среду и рудную часть. Эти две части существуют, что и определяет понятие «месторождение». Вмещающая среда является частью более крупных структур. Это обстоятельство определяет возможность оценки перспектив территорий на возможную локализацию рудной минерализации (прогнозирование месторождений).

Вмещающая среда характеризуется: а) возрастом; б) составом; в) строением.

— Рудная часть также характеризуется возрастом оруденения; составом ореолов (частью которых являются и рудные тела); строением рудных тел.

Такое разделение полезно, так как позволяет раскрывать содержание понятия «месторождение» в зависимости от уровня исследований. Действительно, при прогнозировании использование сведений о рудной части месторождений не имеет смысла, тогда как сведения о вмещающей среде важны для разделения перспективных площадей. Поэтому прогнозирование должно осуществляться по косвенным признакам. Такой подход к системе критериев оценки перспектив прогнозных территорий находит подтверждение и в общепринятых задачах металлогенического анализа, которые состоят в выделении закономерностей локализации месторождений полезных ископаемых и в задачах прогнозирования — выделении перспективных площадей на основании познанных закономерностей локализации месторождений.

В соответствии с принципами уровенного подхода геологический смысл вмещающей среды меняется. В региональных исследованиях общепринятым является анализ строения территорий с позиции формационного анализа и построения формационных карт. Наименьшим элементом структуры таких карт является геологическая формация, которая выступает в данном случае объектом изучения. На этом уровне геологическая формация приобретает смысл «месторождения». По результатам анализа геологических формаций делаются заключения об их рудоносности, устанавливаются закономерности локализации рудоносных геологических формаций.

На следующем уровне в качестве объекта выступает элемент, включающийся в формацию. Таким образом, устанавливается иерархический ряд объектов, и объект исследования каждого уровня характеризуется свойствами, отвечающими геологическим данным изучаемого уровня (в соответствии с принципом «уровень организации вещества → уровень исследования → уровень описания»).

Приведенная таблица иллюстрирует соотношение основных понятий в металлогенических и прогнозных построениях при уровенном подходе.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамович И. И., Дуденко Л. Н., Михайлова Ю. И. Математизация геологии и металлогенический прогноз. — В кн.: Проблемы региональной геологии СССР. Л., 1972.

Боровиков Л. И., Драгунов В. И., Смыслов А. А., В. И. Ленин и теоретические проблемы современной геологии. — В кн.: Проблемы региональной геологии СССР. Л., 1972.

Косыгин Ю. А. Методологические вопросы системных исследований в геологии. — «Геотектоника», 1970, № 2.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

А. А. Хлобустов

Система — такое взаимодействие энергии и материальных объектов единого целого с окружающей средой (на основе взаимодействия частей целого друг с другом), которое улучшает состояние этой среды (а через это — и самой системы).

Важнейшие параметры систем — а) взаимодействия (внешние и внутренние); б) виды энергии; в) материальные объекты (части) — самостоятельные (т. е. одна отделена от другой), функциональные (каждая «делает свое дело»), не элементарные (каждая состоит из частей); г) целостность — отличие от среды (выделенность из нее) и интегративность — взаимосогласованность частей системы, целостность описания, а главное — объяснения (на основе всеобщей иерархии и взаимодействия систем, сущность — не внутри, а снаружи объекта); д) структурная упорядоченность — иерархичность и энергии, и материальных объектов, принадлежность к более крупной системе, как части — к целому; е) постоянное создание нового качества (как основного средства самосовершенствования); ж) динамичность и з) саморегулируемость на основе обратной связи.

Системный подход — поэтапное решение проблем с помощью представлений о системах (взаимодействиях), такая методология мышления, в основе которой лежит взгляд на мир, как на комплекс взаимодействующих систем разных порядков; исследование сложных систем через выявление взаимодействий, сначала системы в целом с окружающей средой, а потом — частей системы друг с другом.

Системный подход — абстрактный метод решения конкретных проблем. (Не конкретные детали, тактические приемы, а

стратегия всей деятельности, выбор направления главного удара, определение основного звена — вот в чем его сила).

3. Определение стратегии исследований — основное, что может дать системный подход. Такой стратегией геологии является переориентировка исследований с вещества на взаимодействия. Стратегия решения этой проблемы: снаружи — внутрь, от целого к частям, от главного к второстепенному, от внешних взаимодействий к внутренним, от крупных дискретных миров к менее крупным. Начало — от Солнечной системы, конец — в глубинах атомов (см. рисунок). Законы, обязательные для Солнечной системы, являются главными и для Земли (Хлобустов, 1965), законы Земли в целом — основа развития ее сфер и т. д.

На лестнице (иерархии) дискретных миров и разновидностей энергии важно за взаимодействиями внутри миров не упустить из виду взаимодействия между мирами (Хлобустов, 1971). Именно они определяют ход всех земных процессов и в конечном счете приводят к образованию полезных ископаемых. Построение схемы природных взаимодействий между всеми дискретными мирами от Солнечной системы до элементарных частиц на Земле — вот тот путь, который приведет к достоверным прогнозам полезных ископаемых, землетрясений, погоды и других явлений.

Предложенная ранее (Хлобустов, 1972), схема таких взаимодействий основана на постоянном поступлении на Землю внешней энергии (приливных возмущений Луны и Солнца и солнечной радиации), ее концентрации в земном веществе, в наиболее неоднородных по составу, строению и динамике участках (Хлобустов, 1961, 1962) и последовательном преобразовании ее в другие виды энергии (гравитационной — в электромагнитную и ядерную). В конце цепи взаимодействий и превращений находится возникновение проявлений тектогенеза, метаморфизма, магматизма, полезных ископаемых.

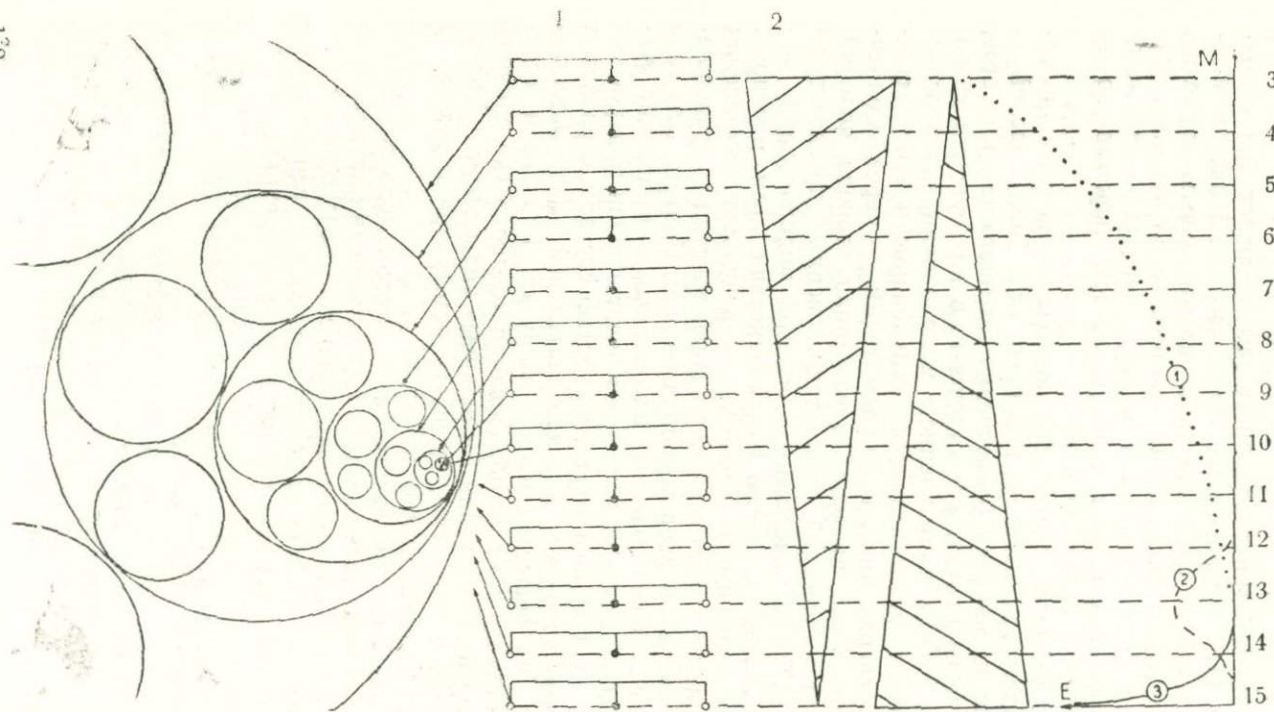
Значительную роль во всех преобразованиях энергии и вещества играют неоднородность (Хлобустов, 1970) и возможность высвобождения вещества из-под нагрузки (Хлобустов, 1958). Оба эти параметра превращений имеют наибольшее значение у земной поверхности и уменьшаются с глубиной. Системный подход указывает не только на то, что следует делать, но и на то, как именно сделать это лучше. Прежде всего — это матричная форма исследований. Важнейшее ее достоинство — эффективное взаимодействие в составе одной группы специалистов нескольких отраслей знания. Матрич-

ная структура абстрактного института включает три основных отдела. Отдел стабильных методических кабинетов обеспечивает глубокую специализацию по отдельным отраслям знания, оснащен всеми видами аналитической техники, постоянно повышает квалификацию закрепленных за кабинетами специалистов, собирает и обобщает всю информацию по узким профилям своих кабинетов.

4. Один из шагов системного подхода — построение моделей проблем для выявления их сущности. Сила моделей — не в упрощении явлений (объяснении сложного через простое, целого — через части), а в выделении в них существенного. Поэтому основным направлением моделирования геологических процессов представляется исследование внешних факторов, путь сверху вниз, к рудным телам — через Солнечную систему. Пока не ясна качественная сторона явлений, никакой математический аппарат достоверных прогнозов не разработан. Такой качественной основой моделирования является предлагаемая схема взаимодействий (см. рисунок). Эндогенные полезные ископаемые — результат накопления и концентрации в земной коре внешней энергии и превращения ее и вещества коры в новообразования. Поэтому основное направление поисков полезных ископаемых — выявление участков с наибольшей концентрацией энергии. Они приурочены к местам с наибольшей неоднородностью состава, строения и динамической нагрузки и с незначительной возможностью высвобождения вещества из-под нагрузки. Главное в модели — длинная цепочка преобразований «слабой» (на единицу массы) энергии гравитации в «сильные» виды энергии (электромагнитную и ядерную), осуществляемых при переходе из больших дискретных миров в малые.

Между тем познание энергетики процессов является самым «темным» местом исследований. Без устранения затянувшихся здесь отставаний невозможно уверенно переходить к следующим этапам. Сейчас задача номер один — переключение главных усилий на исследование именно энергетики, как основного звена, как обязательной ступеньки к познанию природных взаимодействий — конечной причины вещей, позади которой нечего больше познавать.

В настоящее время наука приближается к открытию новых фундаментальных законов. Несомненно сформулированы они будут на стыке нескольких дискретных миров, а скорее всего, — как результат познания взаимодействий между ними. По количеству этих миров геологии принадлежит веду-



Соотношение дискретных миров и основных видов энергии

1 — иерархия дискретных миров, 2 — объем приложения сил, Солнечная система, 4 — планеты, 5 — сферы планет, 6 — океаны—континенты, 7 — платформы—геосинклинали, 8 — геологические регионы, 9 — геологические районы, 10 — комплексы горных пород, 11 — горные породы, 12 — геологические тела, 13 — минералы, 14 — атомы, 15 — элементарные частицы, 16 — удельная энергия. На схеме: 1 — энергия гравитации, энергия электромагнитная, 3 — энергия ядерная, E — энергия, M — масса

щее место. Ей больше других дано, поэтому и больше спросится. На втором и третьем местах стоят, вероятно, науки, изучающие системы органического мира, и социальные. Все они, особенно геология, имеют потенциальные возможности оказаться в числе первых по открытию в сравнительно недалеком будущем новых фундаментальных законов мироздания.

Л и т е р а т у р а

Хлобустов А. А. О роли концентрации напряжений в деформации горных пород и рудообразовании. — «Узбекский геол. журнал», 1958, № 3.

Хлобустов А. А. Об основных закономерностях развития Земли. — «Узбекский геол. журнал», 1961, № 2.

Хлобустов А. А. О направлении экспериментальных исследований по деформации горных пород. — «Узбекский геол. журнал», 1962, № 1.

Хлобустов А. А. Взаимодействие с окружающей средой — важный фактор развития планет и спутников. — «Материалы к совещанию» «Общие закономерности геологических явлений», ВСЕГЕИ, 1965, вып. 1.

Хлобустов А. А. Изучение геологической неоднородности — новый метод поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. — «Записки Узбекстанск. отделения ВМО», 1970, вып. 23.

Хлобустов А. А. Исследования иерархических природных систем — новый метод выявления факторов локализации и прогнозирования месторождений. — «Записки Узбекстанск. отделения ВМО», 1971, вып. 24.

Хлобустов А. А. Схема природных взаимодействий. — «Записки Узбекстанск. отделения ВМО», 1972, вып. 25.

МЕТОДОЛОГИЯ РЕФЕРИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ

Е. Г. Миков

При обучении иностранным языкам в системе высшей школы и в аспирантуре АН СССР все большее внимание уделяется реферированию. Такой подход к учебному процессу отражает современные тенденции в развитии служб научно-технической информации.

Как известно, рост наукоемкости производства в эпоху научно-технической революции и сокращение цикла от возникновения научной идеи до ее технического воплощения привели к «информационному взрыву». Считается, что с «информационным взрывом» можно справиться, если до конца использовать возможности многократного **уплотнения** информации, заложенные в самой природе современного научного

знания. В настоящее время разрабатываются приемы уплотнения научно-технической информации (Метод. указ..., 1974). По-видимому, основные приемы уплотнения научно-технической информации будут стандартизованы, что дополнит стандартизацию научной и технической терминологии.

Преодоление «информационного взрыва» в части иноязычной научно-технической информации имеет свои специфические трудности. С одной стороны, нет полного соответствия терминологических систем в литературе, написанной на разных языках, вследствие чего перевод нередко искажает смысл. С другой стороны, не хватает квалифицированных работников службы научно-технической информации для того, чтобы качественно отреферировать весь поток зарубежной специальной литературы. Это значит, что задача уплотнения зарубежной научно-технической информации, преобразования ее в сжатое, концентрированное знание, еще долгое время будет выпадать на долю самих потребителей информации — научных работников, инженеров и других специалистов народного хозяйства.

Оптимальным решением проблемы было бы создание специального учебного пособия по реферированию с элементами программирования. Такое пособие может быть пригодно для самостоятельной работы и должно максимально отражать естественные условия информационной работы специалиста.

Современные представления о методике обучения реферированию иноязычных научных текстов на иностранном языке хорошо иллюстрирует изданное в 1974 г. Латвийским Государственным университетом пособие (Agamjanova, Gulena, 1974).

Под реферированием понимают сложный вид аналитико-синтетической речевой деятельности с общей моделью: текст 1—смысл—текст 2. Принято говорить о «реферативном чтении» потому, что просмотр научного текста уже создает предпосылки для его реферирования. Современная методика обучения реферированию научных текстов характеризуется двумя основными моментами:

1. При прочтении текста особое внимание уделяется выявлению его смысловой структуры: Определяется тема публикации. Анализируя разделы и абзацы, выявляют смысловые части текста, основное содержание каждой композиционной части и смысловую взаимосвязь отдельных частей. В заключение прослеживают, как на протяжении всего текста после-

довательно развиваются темы и подтемы, заявленные в заглавии и подзаголовках;

2. Реферирование предполагает широкое использование типичных речевых образцов, выделенных из подлинных реферативных текстов на изучаемом иностранном языке. Речевые образцы типа: «В настоящей работе рассматриваются...», «В главе рассматриваются... с... точки зрения» и многие другие могут быть выделены благодаря тому обстоятельству, что реферативные тексты в значительной мере состоят из шаблонных фраз и речевых конструкций. Подстановка все новых и новых понятий вместо пропущенных слов позволяет использовать выделенные речевые образцы применительно к разным темам.

В соответствии с логикой намечаемого реферата подбирают подходящие по смыслу речевые образцы, которые представляют собой план реферата. Это — основа будущего реферативного текста, которую «достраивают», используя конспективные заметки по содержанию реферируемого текста, составленные во время аналитического чтения.

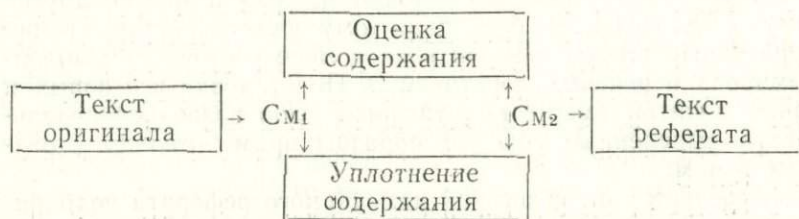
Такая методика обучения реферированию весьма рациональна в самой основе, однако практическая работа по такому методу выявляет некоторые недостатки.

Во-первых, не найден сколько-нибудь приемлемый принцип подачи отобранных речевых образцов. В. И. Агамжанова, М. Н. Гулеи (Agamjanova, Gulena, 1974) использовали для отбора речевых образцов более 100 рефератов и обзоров из специальных журналов. Из каждого исходного текста было выделено по 5—8 речевых образцов. Эти группки, относящиеся к исходному реферативному тексту, пронумерованы и приведены в пособии. Найти интересующий нас речевой образец в пособии, построенном по такому принципу, нелегко, а если для отбора речевых образцов использовать не 100, а 800 или 1000 исходных текстов, задача становится почти неразрешимой. Очевидно, что пособия по реферированию научных текстов на иностранном языке могут быть эффективными только в том случае, если для подачи материала будет использована классификация речевых образцов, основанная на их смысловой характеристике.

Другой, хотя и менее существенный, недостаток пособия состоит в недостаточной определенности самого содержания реферирования. Конечно, можно полагать, что специалист знает, в чем суть реферирования материалов по его специальности, а задача методиста состоит лишь в том, чтобы

предложить соответствующий набор средств речевого выражения. Однако при таком подходе неизбежны серьезные просчеты, ибо средства для решения какой-либо познавательной задачи обычно усваиваются только в неразрывной связи с содержанием этой задачи.

Предлагается следующая модель реферирования научного текста:



Здесь $См_1$ — смысл публикации, определяемый с позиций автора опубликованной работы: прежде чем отнестись к содержанию чужой работы со своих позиций, необходимо достаточно четко представить себе позицию автора. $См_2$ — информация, еще не реализованная в тексте, существующая в сознании референта и слагающаяся из двух компонентов: сжатой, концентрированной информации первоисточника и системы многообразных оценок этой информации первоисточника с позиций референта. Оценка и уплотнение содержания первоисточника предстают как основные звенья смыслового преобразования текста 1 в текст 2.

Исходя из основных положений коммуникативной теории речи (Леонтьев, 1965; Артемов, 1969), можно представить себе область смысловых оценок содержания научного текста как континуум высказываний, имевших место в прошлом, реализуемых в данный момент или возможных в будущем. Каждое высказывание конкретно и потому не повторимо полностью. Однако имеются общие черты, позволяющие единичные высказывания сводить в группы (классы). Основанием для этого могут быть и повторяющиеся формально-речевые конструкции. Однако можно вычленять группы высказываний и на основе их содержания.

Условимся считать типичными те оценочные высказывания, которые удовлетворяют двум условиям:

а) типичное оценочное высказывание затрагивает наиболее существенные аспекты научной информации;

б) оценочное высказывание является типичным, если оно встречается в практике реферирования достаточно часто.

Референт касается наиболее существенных аспектов научной информации, если соотносит конкретное содержание реферлируемой работы: а) с предметом данной науки; б) с проблемой, решению которой подчинено данное исследование; в) с этапами разворачивающегося исследования; г) если он анализирует состав элементов сообщаемой научной информации; д) если он анализирует закономерности порождения текста и закономерные особенности структуры научного текста.

Используя систему понятий смежных научных дисциплин, можно предложить следующую «укрупненную» смысловую классификацию оценочных высказываний. Каждому пункту в этой классификации соответствует довольно широкое семантическое поле, включающее более конкретные понятия.

Классификация оценочных высказываний

1. По соотношенности с предметом данной науки: 1.1. Оценки, связанные с отграничением объекта исследования. 1.2. Оценки, определяющие специфический подход данной науки к объекту исследования. 1.3. Оценки, характеризующие массив накопленной информации об объекте. 1.4. Оценки, характеризующие системы понятий, сложившиеся в данной науке. 1.5. Оценки, затрагивающие специфические принципы познания, характерные для данной науки. 1.6. Оценки, характеризующие методику и технику исследования.

2. По соотношенности со структурой проблемного знания (Жариков, 1973): 2.1. Оценки, связанные с формулированием проблемы (операции вопрошения, контрадиктации, финитизации). 2.2. Оценки построения проблемы (операции стратификации, композиции, локализации, вариантификации). 2.3. Высказывания, содержащие оценку проблемы (операции кондификации, инвентаризации, когнификации, уподобления, квалификации). 2.4. Оценки, связанные с обоснованием проблемы (операции экспозиции, актуализации, компрометации, демонстрации). 2.5. Оценки, связанные с аспектом обозначения (операции экспликации понятий, перекодировки, интимизации понятий).

3. По соотношенности с этапами разворачивающегося исследования (Косолапов, 1968). 3.1. Оценки, связанные с определением цели (задачи) исследования. 3.2. Оценки, связанные с определением предварительной стратегии исследования. 3.3. Оценки, связанные с описанием объекта на основе существующей информации. 3.4. Оценки, связанные с построением

рабочей гипотезы. 3.5. Оценки, связанные с определением методики поиска новых фактов. 3.6. Высказывания, связанные с оценкой и анализом новых фактов. 3.7. Оценки, связанные с созданием гипотезы как формы систематизации научных фактов. 3.8. Оценки, связанные с проверкой гипотезы и формированием научной теории. 3.9. Оценки, связанные с приложением новой теории к практике.

4. Под углом зрения анализа составных элементов сообщаемой научной информации можно выделить: 4.1. Оценки, характеризующие всю совокупность сообщаемой информации и 4.2. Оценки, характеризующие ее отдельные элементы.

С информационно-логической точки зрения сумма знаний об объекте, находящемся в научном обиходе, может включать следующие компоненты (и, соответственно, возможны следующие разновидности оценок):

4.2.1. Мнения о каких-либо фактах. 4.2.2. Удостоверенные, но еще не объясненные факты. 4.2.3. Мнения о системе причинно-следственных связей, существующих в данной предметной области. 4.2.4. Научно доказанные представления о системе причинно-следственных связей в данной предметной области. 4.2.5. Объясненные факты, т. е. достоверные факты, поддающиеся логически непротиворечивому включению в познannую систему причинно-следственных связей. 4.2.6. Совокупность всех объясненных фактов, которая в целом выступает как научное описание данной предметной области и одновременно как «эмпирический базис» объясняющий данную предметную область теории. 4.2.7. Отдельные научные теории, отражающие лишь часть познанных причинно-следственных связей и соотносящиеся не со всеми объясненными фактами. 4.2.8. Общую теорию данной предметной области, которая соотносится более или менее непротиворечиво со всем «эмпирическим базисом», со всеми объясненными фактами. 4.2.9. Гипотезы, т. е. такие теоретические построения, которые не полностью согласуются с удостоверенными фактами, хотя отчасти и объясняют их (Косолапов, 1968).

5. По соотносительности с процессом порождения текста: 5.1. Оценки, характеризующие тему устного или письменного высказывания, 5.2. Оценки коммуникативной ситуации. 5.3. Оценка прагматической программы речевого действия (Sprache und Praxis, 1971).

6. По отношению к структуре научного текста: 6.1. Оценка разновидности научного документа. 6.2. Оценка членения текста на смысловые компоненты (разделы, подразделы, па-

параграфы, подпараграфы, абзацы). 6.3. Оценки, связанные с принципом отбора элементов содержания. 6.4. Оценки, связанные со способом подачи (изложения) содержания (Sprache und Praxis, 1971).

Столь широкая семантическая классификация оценочных высказываний может быть сужена, если применить второй критерий: реальную встречаемость тех или иных оценок в реферативных материалах, обслуживающих данную область знания.

Во всяком случае, предложенная семантическая классификация оценочных высказываний дает твердую основу не только для систематической подачи отобранных речевых материалов в учебном пособии, но и облегчает сам процесс отбора речевых образцов.

Предложенная семантическая классификация оценочных высказываний покрывает значительную часть содержания реферативных текстов. В этой связи появляется возможность конкретно определить и, что особенно важно, моделировать второй содержательный аспект реферирования научной информации, а именно: процесс уплотнения информации, содержащейся в первоисточнике.

Примем исходную посылку: в содержании любого первичного научного документа может быть выделен некоторый предельный минимум информации (ПМИ), который не может быть подвергнут дальнейшему сокращению, ибо тогда информация потеряет важнейшее свойство — конкретность, и за ней сохранится лишь сигнальная функция. Лишенный конкретности ПМИ будет лишь указывать на место данного исследования в системе научного знания, но не определит результаты познавательной деятельности.

На наш взгляд, максимальная степень уплотнения научной информации предполагает простую констатацию объективно нового знания, которое может затрагивать разные стороны познавательных процессов: появление нового подхода к традиционному объекту исследования, существенные изменения в массиве накопленной информации об объекте исследования, преобразование сложившихся систем понятий, появление отдельных новых понятий и т. д.

Конкретное содержание первоисточника можно представить себе как ПМИ и «надстройку» над ним, которая включает в себя несколько уровней:

а) посредством некоторых дополнительных высказываний содержание ПМИ ставится в связь с более широким научным

контекстом; к примеру, раскрывается значение новых фактов для построения теории, для решения конкретной проблемы и т. д. и т. п.;

б) посредством других дополнительных высказываний отмечаются индивидуальные особенности исследователя в части постановки и решения исследовательских задач;

в) наконец, третий «пласт» дополнительных высказываний характеризует особенности автора в части изложения материала.

При огромном многообразии конкретного научного содержания и в связи с тем, что существует много разновидностей научного текста с реферативным характером, для методики обучения реферированию особое значение приобретает вопрос о смысловом моделировании реферативной деятельности и ее результата — реферативных текстов.

Под моделью реферативной деятельности (или под определенным типом реферативного текста) мы понимаем устанавливаемые посредством статистического анализа соотношения между ПМИ и разновидностями других, дополнительных высказываний. Выявляемая при этом вероятностно-статистическая модель реферативного текста (реферативной деятельности) может быть описана более детально, если определить удельный вес различных оценок (см. классификацию оценочных высказываний) в трех «пластах» дополнительных высказываний.

Методика разложения содержания реферативных текстов на смысловые компоненты помогает решению многих учебно-методических задач. Например, можно изучить основные лексико-грамматические и стилистические особенности максимально сжатых реферативных текстов и других типов более развернутого реферата. Эти данные могут быть использованы при разработке упражнений в реферировании. Статистически достоверные модели разных типов реферата могут быть проиллюстрированы хорошими образцовыми текстами.

Подробные данные семантико-статистического анализа реферативных текстов и дополнительные учебно-методические разработки позволяют алгоритмизовать процесс обучения реферированию научных текстов на иностранном языке.

Учебное пособие нового типа, создание которого поставлено в повестку дня самим развитием научно-технического прогресса, по-видимому, должно включать три раздела: 1) систематизированный справочник речевых образцов — оценок; 2) раздел, характеризующий с лексико-грамматической, сти-

листической и семантической точек зрения вероятностно-статистические модели реферативных текстов; 3) алгоритмы реализации каждой из этих вероятностно-статистических моделей реферата в конкретном тексте.

Большую помощь при «уплотнении» содержания первоисточника может оказать также систематизированный справочник общенаучной лексики и основных терминов данной научной специальности.

ЛИТЕРАТУРА

Артемов В. А. Психология обучения иностранным языкам. М., «Просвещение», 1969.

Жариков Е. С. О действиях, составляющих постановку научной проблемы. — «Философские науки», 1973, № 3.

Косолапов В. В. Информационно-логический анализ научного исследования. Методологические проблемы аналитико-синтетической переработки научной информации. Киев, УкрНИИНТИ, 1968.

Леонтьев А. А. Язык, речь, речевая деятельность. М., «Просвещение», 1965.

Методические указания по составлению и оформлению рефератов на выполненные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. М., Всесоюзный научно-технический информационный центр, 1974.

V. A g a m j a n o v a, M. G u l e n a. Phrase-book for science students. An aid to Abstract and Review Writing. Riga, 1974.

Sprache und Praxis. Lehrbuch für Sprachkommunikation an Ingenieur — und Fachschulen. VEB Verlag Enzyklopädie, Leipzig, 1971.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАРИАНТЫ

Ю. П. Миронов

Формальное построение любой науки начинается с поисков каких-либо инвариантных форм, ибо понятия симметрии и инвариантов теснейшим образом связаны (Вигнер, 1971). Обнаружение инвариантов иногда приводит к появлению новых отраслей науки.

Нечто подобное может произойти и в геологии. Оценивая ее современное состояние, можно видеть, что в неявной форме концепция инвариантности некоторых типов структур уже имеется в ряде работ. Так, Н. С. Шатский (1948) указал на существование глубоких дислокаций, охватывающих платформы и складчатые области. Сейчас такие структуры называются трансформными. В Восточном Забайкалье подобная структура пересекает Северо-Даурский свод и субгеосинкли-

нальную зону юга Восточного Забайкалья (Томсон, Фаворская, 1968; Фогельман, 1968). Таким образом, линейные трансформные структуры являются инвариантными относительно геологической обстановки.

Таково же положение со сводовыми и купольными структурами, которые зафиксированы для складчатых областей (Уиссер, 1964), платформ (Корешков, 1960) и зон активизации (Кочнева, Миронов, 1972; Томсон и др., 1974), т. е. свод (прогиб) тоже можно рассматривать в качестве геологического инварианта. Приходится констатировать факт, что два упомянутых инварианта даже в любых сочетаниях не задают геологическую карту. Значит нужно усложнять форму инвариантов до тех пор, пока какой-либо конкретный прогиб или поднятие не удастся зафиксировать точно на модели.

Изучая геологические карты, мы обратили внимание на то, что кроме прямой линии и окружности (эллипса) существуют лемнискаты (фигура в виде восьмерки), двойные лемнискаты (две располагающиеся нормально восьмерки), кардиоиды, а также так называемые Т-лемнискаты и Т-кардиоиды. Наиболее протяженные и четкие структуры условно названы структурными линиями. В геологии существует понятие структурного узла, под которым обычно подразумевается участок пересечения линейных структур. Но к отдельному структурному узлу могут стягиваться также и криволинейные структурные линии, поэтому понятие структурного узла здесь расширяется до понятия структурного центра, как участка пересечения прямолинейных и криволинейных структурных линий. Генетически структурный центр можно сопоставить так называемым горячим точкам планеты (в концепции Моргана), т. е. структурные центры — это палеоточки, или горячие точки прошлых эпох, выведенные на поверхность при денудации.

Используя понятие структурной линии и структурного центра, можно задать модель геологической карты. При этом структурные линии будут представлять генерализованные геологические границы. Понятие геологической границы является фундаментальным для геологии (Косыгин, 1974). Фундаментальные понятия инвариантны относительно времени и места (Вигнер, 1971), что дает право оценивать интегральные картины структур, не оценивая возраст каждого контакта.

В Индии обнаруживаются структуры, периметр которых описывается окружностью. Так, практически идеальна круговая структура с центром близ Бомбея. Ее главный юго-восточный сектор представляет поле разлития пермских и триа-

совых траппов. Побережье Бенгальского залива представляет линейный элемент окружности с центром в районе г. Кандагара (близ границы Ирана и Афганистана).

Севернее располагается Гималайская система структур, пустыни Гоби и Такла-Макан. Четкую лемнискатную форму имеет Гималайская складчатая система к северу от Дели. Лемнискатный характер Гималайской дуги устанавливается по асимметрии в западной и в восточной частях. На востоке эта дуга круто поворачивает к северу, а на западе поворот к северу имеет пологий характер. Линия, разграничивающая докембрийское поднятие и четвертичный прогиб, в пределах которого находится город Дели, проецируется в район г. Бекабада, где располагается Бекабадский структурный центр. Детали строения триасовых, юрских и меловых прогибов к югу от пустыни Такла-Макан показывают, что Бекабадский структурный центр скачками перемещался по линии, соединяющей Бекабад и Шанхай. На этой линии находится четыре структурных центра и в том числе Восточнотакламаканский центр, представляющий узел пересечения огромного количества структурных линий.

Существование цепочек структурных центров позволяет по-новому осветить характер связи между трансформными и складчатыми структурами. Обычно априори считается, что они генетически самостоятельны. Будем рассматривать трансформную структуру, как линию движения структурных центров. Тогда складчатая структура генетически связана с трансформной и порождается ею, ибо структурные центры (горячие точки) порождают конкретные структуры, а трансформная линия является метаструктурной (структурой структуры).

Оценка типа структур в Восточнотакламаканском центре может быть произведена, если рассмотреть сопредельную территорию Северо-Восточной Азии. Здесь выделяются две крупные структуры радиально-концентрического плана (рис. 1). В Северной структуре центральная часть в основном представляет прогиб, а периферическая зона — поднятие. В Южной — центральная часть, наоборот, является поднятием, а краевая — прогибом. Эти две структуры частично пересекаются между собой, образуя разделительную линию, трассирующуюся от Шанхая до Бекабада в советской части Средней Азии. Структуры Индо-Китая как бы обтекают два жестких ядра в виде Северной и Южной структур. В результате образуется фигура, изображенная на рис. 1, внешние очертания которой названы Т-кардиоидной. Генезис Т-кар-

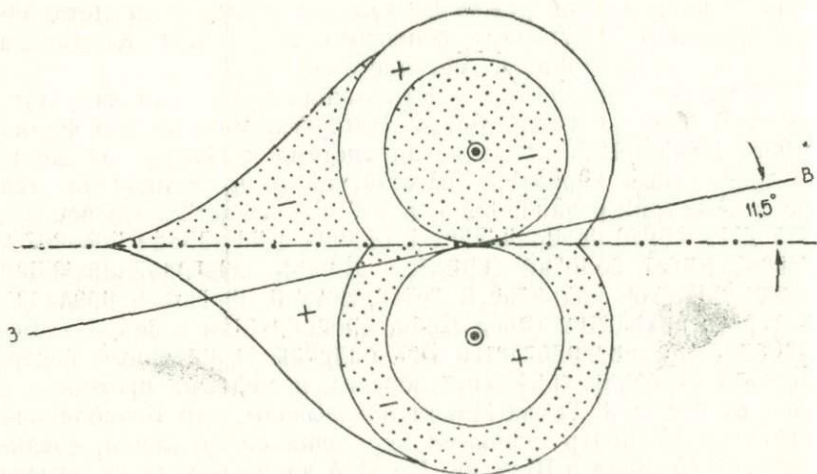


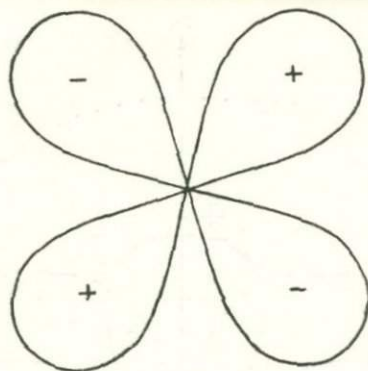
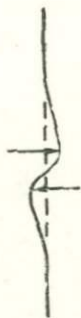
Рис. 1. Схема северо-восточной структуры Азии

диоидальных структур обсуждается ниже, здесь же заметим лишь то, что острое основание Т-кардиоиды находится в Восточнотакламаканском центре. Кроме того, интересен факт отклонения Бекабадско-Шанхайской трансформной структуры на $11,5^\circ$ от широтного направления. Этот угол совпадает с отклонением оси диполя Земли от оси вращения. Иными словами, рассматриваемые структуры ориентированы согласно магнитным координатам Земли.

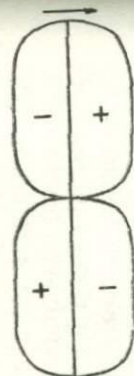
Рассмотрев примеры тектонических форм, перейдем к оценке их генезиса. При этом осуществляется попытка вывести структурные элементы как функции симметрии известных физических полей, включая сейсмическое, магнитное, гравитационное и электромагнитное поле.

На рис. 2 приведены диаграммы, отражающие схему напряжений в фокусе землетрясений для двух типов моделей (Ботт, 1974). Векторы сжатия образуют лемнистатные зоны поднятий (знак «+»), а векторы растяжения — лемнистатные зоны опусканий (знак «-»). Для поперечных волн диаграммы напряжений неразличимы в двух типах моделей. Для продольных волн обнаруживаются двойные лемнистатные структуры с асимметрией напряжений. Эту асимметрию мы отразили разделением каждой лемнистатной структуры пополам. Подобные разделенные пополам структуры можно назвать дублетными. Таким образом, судя по расчетам сейсмического

Тип I
Пара сил



Волны P



Волны S

Тип II
Двойная
Пара сил

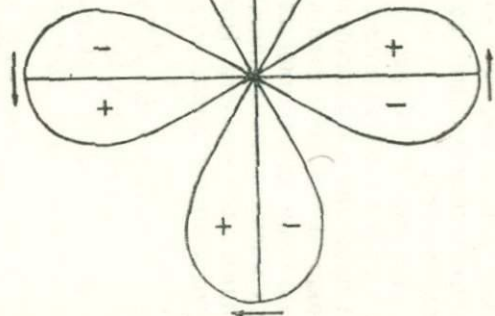
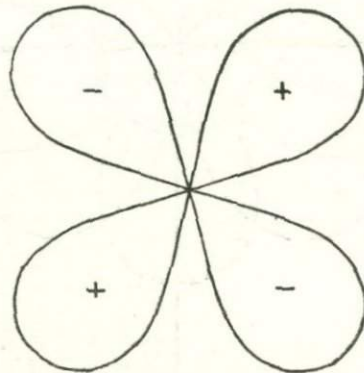
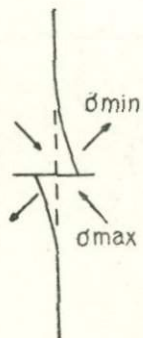


Рис. 2. Диаграммы сдвигов при первом толчке в фокусе землетрясения

поля, в геологических структурах следует ожидать проявления симметрии лемнискаты, двойной лемнискаты и дублетной лемнискаты.

На рис. 3 изображена диаграмма, отражающая симметрию магнитного поля Земли. Земля имеет шарообразную форму, ее проекция на плоскость показана в виде линии S . Силовые линии магнитного поля имеют эллиптическую форму (q). При движении вдоль силовых линий сохраняется неизменным вектор магнитной индукции, поэтому линии q можно назвать линиями однородности. Нормали к линиям однородности образуют систему линий неоднородности в виде лемнискат (P).

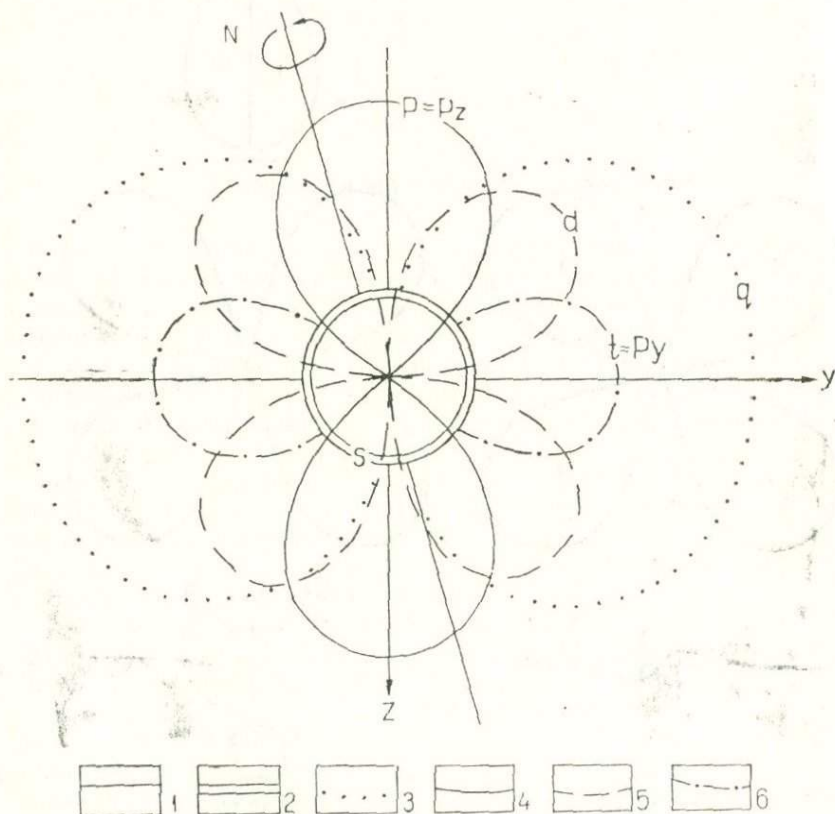


Рис. 3. Диаграмма, отражающая симметрию магнитного поля Земли 1 — оси координат, 2 — линии, отражающие форму Земли, 3 — линии однородности (силовые линии магнитного поля), 4 — линии неоднородности, 5 — равновесные линии, 6 — антивравновесные линии

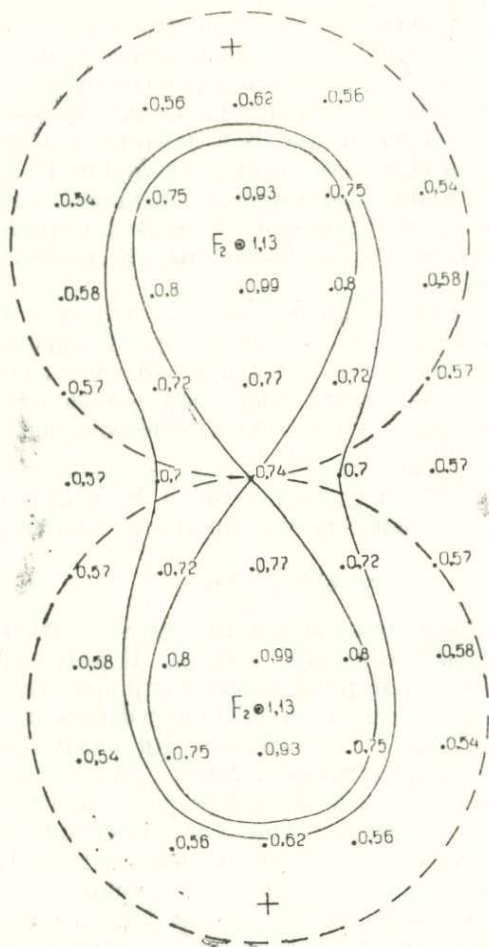
Линии, проведенные через точки пересечения соответствующих линий однородности и неоднородности, отражают равновесное состояние магнитного поля, поэтому они названы равновесными (L-линии). Нормали к ним порождают систему антиравновесных линий (t). Вся магнитная система наклонена под углом в $11,5^\circ$ к оси вращения Земли (N). Отсюда следует, что отражение симметрии магнитного поля Земли в геологических структурах может привести к формированию круговых, эллиптических, лемнискатных и двойных лемнискатных структур.

Рассмотрим гравитационную модель поднятия, возникшего в результате разуллотнения в коре. Согласно закону гравитации, две массы одинакового знака притягиваются друг к другу, поэтому два свода могут образовать единую положительную структуру. Пусть воздымание совершается по экспоненциальному закону $y=e^{-r}$, где r — радиус свода. На каждую точку действует поднятие свода F_1 и свода F_2 , поэтому общее поднятие точки можно рассчитать по формуле

$$y=e^{-r_1}+e^{-r_2},$$

где r_1 — расстояние от точки до центра свода F_1 , r_2 — расстояние от точки до центра свода F_2 . В результате получаем поле значений, в котором можно построить изолинии равного поднятия. В общем изолинии имеют форму овалов Кассини (рис. 4). В пределе овалы Кассини приводят к лемнискате. Овалы Кассини представляют фигуры, из которых сшивается теннисный мяч. Земля имеет структуру теннисного мяча (Сорохтин, 1974), в котором один овал Кассини имеет положительный знак (восходящий миграционный поток), а другой — отрицательный знак (нисходящий миграционный поток). Тот факт, что гравитационная модель на базе двух сводов позволяет объяснить структуру теннисного мяча, заставляет с доверием отнестись к самому типу моделирования. Поэтому можно сказать, что структуры в виде овалов Кассини и лемнискат не только могут быть, но их существование уже доказано.

Обозначим свод буквой S (S-структура), а двойной свод — буквой x (именно такие обозначения аналогичных структур приняты в квантовой механике). Лемнискатная структура в этой системе обозначается через x^2 . Рассмотрев x-структуру, мы получили x^2 -структуру, которая отличается от первой отношением длины к ширине. Геологический про-



Р и с. 4. Гравитационная модель возникновения лемнискатного поднятия

цесс имеет волнообразный, циклический характер. К началу второго цикла существует лишь x^2 -структура. Последняя порождает еще более вытянутую структуру, которая обозначается через x^3 . Таким путем процесс будет продолжаться вплоть до возникновения линейной x^p -структуры при $p \rightarrow \infty$. Иначе говоря, во времени образуется ряд структур x^1, x^2, \dots, x^p .

Пусть длительно формируется прогиб. Сначала он будет

иметь форму x^1 , затем — x^2 и т. д., до x^n . Поэтому геологическое тело, образовавшееся в этапы времени $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$, примет вид фигуры, изображенной на рис. 5а (Т-лемниската или динамолемниската). Обозначим кардиоиду через σ . Аналогично процессу образования Т-лемнискаты, этапам времени T_1, \dots, T_n сопоставляются кардиоиды $\sigma_1, \dots, \sigma_n$. Следовательно, в динамическом варианте получается фигура, названная нами Т-кардиоидой (рис. 5б). Именно Т-кардиоидальная структура с двумя ядрами изображена на рис. 1.

Таким образом, рассмотрение гравитационной модели показывает, что в геологических структурах должна отражаться симметрия окружности, овала Кассини, лемнискаты, кардиоиды. Динамическая модель приводит к симметрии Т-лемнискаты и Т-кардиоиды.

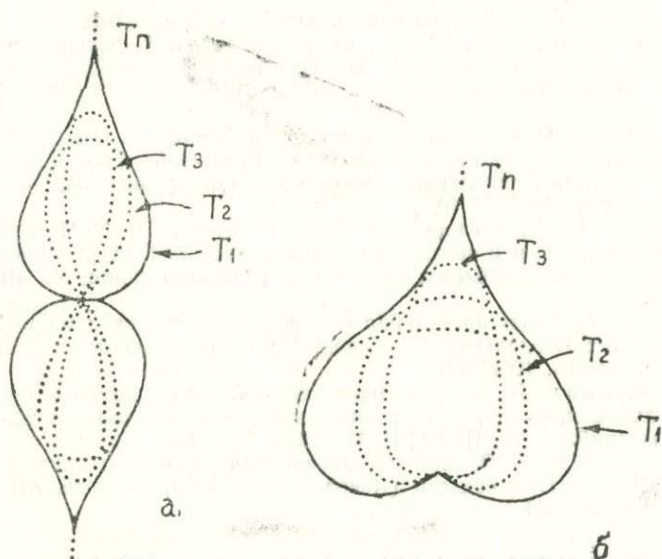


Рис. 5. Т-лемниската (а) и Т-кардиоида (б)

Интересно, что симметрия микромира практически не отличается от симметрии рассмотренных полей. Здесь же функционируют круговые, лемнискатные и двойные лемнискатные структуры.

Обобщая материал, можно сказать следующее. Имеются геологические данные тектонической инвариантности некоторых типов структур. Сюда в первую очередь относятся транс-

формные структуры и своды (прогибы). Подобные типы структур названы геологическими инвариантами. Рассмотрение генерализованных границ геологической карты показывает, что в множестве геологических инвариантов должны быть также лемнискатные, дублетные лемнискатные и Т-кардиоидальные структуры. Эти данные подтверждаются при изучении симметрии физических полей. Материалы по симметрии полей показывают, что геолого-структурные формы включают окружность, эллипс, лемнискату, двойную лемнискату, дублетные лемнискаты, кардиоиду, Т-лемнискату и Т-кардиоиду.

ЛИТЕРАТУРА

- Ботт М. Внутреннее строение Земли. М., «Недра», 1974.
- Вигнер Е. Этюды о симметрии. М., «Мир», 1971.
- Корешков И. В. Области сводового поднятия и особенности их развития. М., «Недра», 1960.
- Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М., «Недра», 1974.
- Кочнева Н. Т., Миронов Ю. П. Алишская купольная структура в Восточном Забайкалье и связанное с ней оруденение. — В кн.: Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР. М., «Наука», 1972.
- Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М., «Наука», 1974.
- Томсон И. Н., Фаворская М. А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования оруденения. — «Советская геология», 1968, № 10.
- Томсон И. Н., Полякова О. П., Кочнева Н. Т. Мегасвод Восточного Забайкалья и связь с ним нижнемелового эпitherмального оруденения. — В кн.: Проблемы эндогенного рудообразования. М., «Наука», 1974.
- Уиссер Э. Связь оруденения с купольными структурами в Северо-Американских Кордильерах. — В кн.: Проблемы эндогенных месторождений. М., «Мир», 1964, вып. 2.
- Фогельман Н. А. Тектоника мезозойского сводового поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений. — Тр. ЦНИГРИ, М., 1968, вып. 84.
- Шатский Н. С. О глубоких дислокациях, охватывающих и платформенные и складчатые области (Поволжье и Кавказ). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1948, № 5.

ПРОБЛЕМА ИЕРАРХИИ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ВОПРОСЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Р. А. Гордеев

Изучение структуры рудных объектов может проводиться на разных уровнях организации вещества: минеральном, породном, формационном и т. д. При этом наибольшие результаты получены на минеральном уровне.

Обычно, когда речь идет о структуре минерала, то принято различать его кристаллическую решетку и структурный мотив, т. е. элементарную ячейку кристаллической решетки. Элементарные ячейки, комбинируясь по определенным законам, дают тот или иной тип кристаллической решетки. Кроме того, структурный мотив характеризуется составом, который является определяющим в составе минерала. Минерал характеризуется также формой, которая зависит от условий кристаллизации и свойств вмещающей среды.

А существует ли на породном и формационном уровнях «кристаллическая решетка» и «структурный мотив»? В принципе да.

На породном уровне различают парагенезис и текстуру породы. Под парагенезисом понимается «...устойчивая ассоциация минералов, связанных общей структурой» (Рундквист, 1971, стр. 28). Следовательно, парагенезис обладает структурой и составом не зависящих от вмещающей среды, а как известно, состав парагенезиса является определяющим в составе породы. Все это приводит к мысли о том, что парагенезис есть ни что иное, как «структурный мотив» породы — элементарная ячейка породного уровня организации вещества. Расшифровывая комбинации парагенезисов, можно получить представление о структурной решетке, точнее о квазирешетчатом типе структуры породы. Тип комбинации парагенезисов принято называть «текстурой породы». Структура парагенезисов и текстура породы не зависят от вмещающей среды, в то время как форма породы существенно от нее зависит. Таким образом, можно констатировать, что на породном уровне парагенезисы играют роль элементарных ячеек породы, а текстуры пород — роль структурных решеток.

На формационном уровне, вероятно, также следует различать элементарную ячейку и текстуру рудных формаций. По аналогии с породным уровнем организации вещества за элементарную ячейку можно принять рудно-магматическую систему П. Ф. Иванкина (1971). Действительно, по определению рудно-магматическая система — это устойчивая ассоциация минеральных парагенезисов, характеризующаяся закономерным сочетанием магматических и гидротермальных образований. Кроме того, надо учесть еще одну особенность формационного уровня — влияние на ориентировку рудно-магматической системы поля земного тяготения, вследствие чего наиболее обычной для элементарной ячейки формационного уровня является вертикальная зональность. Закономерность

строения рудно-магматической системы подтверждается также четко проявленной и повторяющейся в разных телах пульсационной зональностью, отражающей смену одних минеральных парагенезисов другими. Следовательно, структура рудно-магматической системы не зависит от свойств вмещающей среды.

Также по аналогии следует выделять текстуру рудной формации, т. е. определенный тип комбинации рудно-магматических систем. Так, рудно-магматические системы могут образовывать цепочки (Силинское, Дальнее рудные поля в Приморье), каркасы (Хатарен-Индустриальное рудное поле, Северо-Восток) и, возможно, кольцевые образования.

Можно определенно сказать, что на минеральном, породном и формационном уровнях существуют свои и только свои элементарные ячейки и структурные решетки (см. таблицу), т. е. это свойство инвариантно — прослеживается через все уровни.

Уровни организации вещества	Элементарная ячейка уровня	Структура уровня
Минеральный	Структурный мотив	Кристаллическая решетка
Породный	Парагенезис	Квазирешетчатая структура—текстура породы
Формационный	Рудно-магматическая система	Текстура рудной формации

Выявленное свойство уровней организации вещества можно использовать для прогнозирования оруденения в рудных полях.

Так, оловорудные поля обычно представляют собой совокупности (цепочки, каркасы) рудно-магматических систем, развитых закономерно. Причем их корневые области расположены на равных расстояниях друг от друга, что дает возможность прогнозировать положение новых рудно-магматических систем на флангах рудных полей и выявлять недостающие слепые системы. В самих рудных пучках проявление минерализации отмечается в виде пространственно обособленных в той или иной степени струй, имеющих тождественный состав. Изучив характер минерализации в одной струе можно

предсказывать тождественность его в других. В свою очередь, сами струи сложены несколькими минеральными парагенезисами, развитыми закономерно (зонально). Зная характер закономерности в одной струе, можно прогнозировать в других их полное строение по изученной части.

Таким образом, на каждом уровне организации вещества выявленные закономерности можно использовать для прогнозирования. В пределах элементарных ячеек на каждом уровне можно предсказывать недостающие звенья, а по текстуре уровней организации вещества — возможное положение и состав новых ячеек в неизученной области.

ЛИТЕРАТУРА

Иванкин П. Ф. Рудно-магматические системы. — В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 20—22.

Рундквист Д. В. О принципах выделения и прогнозирования рудных формаций. — В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971, с. 27—35.



ЛОГИКА ПРОЦЕДУРЫ РЕТРОСКАЗАНИЯ В ГЕОЛОГИИ

В. И. Оноприенко

Историческое исследование, типичное для геологических наук, вызывает многие трудности при его постановке и реализации. Вопросы логики исторического исследования активно обсуждались неопозитивистами, которые при оценке его разделялись на две группы. Одни из них настаивают на том, что логические средства исторического познания аналогичны средствам, характерным для естественнонаучного знания, и поэтому историческое объяснение должно апеллировать к научным законам. Другие отстаивают специфичность исторического познания по сравнению с научным познанием вообще и придерживаются взгляда на исторические науки как на науки идиографические, описательные, делая вывод, что нельзя переносить естественнонаучные логические приемы на область истории: в роли научного объяснения в истории выступает само историческое описание (Елсуков, 1972; Кон, 1969). Для позитивизма характерна абсолютизация принципиального различия между историческими и естественными науками: результат естественнонаучных исследований дает новые знания о законах изучаемых объектов (генерализующий тип исследования), а исторических — лишь систему описаний индивидуальных событий и состояний (индивидуализирующий тип исследования) (Елсуков, 1968; Кон, 1963; Ракитов, 1969).

В последние годы при обсуждении методологии геологического исследования возникли сходные тенденции в оценке исторического подхода, в соответствии с которыми отрицается, ограничивается, сужается возможность исследования исторических проблем в геологии. Однако очевидно, что последние составляют необходимый элемент геологического исследования. Задача состоит не в том, чтобы их игнорировать, а в том, чтобы разработать логику, очертить возможности, границы

применимости исторических исследований, определить их место в геологии. В связи с этим имеет смысл остановиться на логике такой процедуры как ретросказание и на возможностях ее совершенствования в геологии.

Реконструкция прошлого в геологии осуществляется через создание некоторой пространственно-временной ретросказательной модели. «Ретросказание — это процедура (и соответственно совокупность применяемых в этой процедуре методов) опосредствованного, выводного получения знаний о прошлых предметах на основе знаний о настоящих или других прошлых предметах» (Никитин, 1966, стр. 34). Ретросказание — не столь распространенная процедура научного исследования как, например, объяснение или предсказание, поэтому и разработана она в логико-гносеологическом плане неполно, недостаточно. Между тем ее значение, особенно в науках исторических, весьма актуально.

Структура ретросказания и его место в познании

Как было показано Е. П. Никитиным (1966, 1970), процедуру ретросказания можно разделить на несколько элементов и этапов. В качестве первого этапа выступает создание основания ретросказания. Оно включает фиксацию «следов прошлого», осуществляемую с помощью эмпирических и экспериментальных средств науки. В геологии это описание последовательности напластований, минералогического и петрографического состава горных пород, описание тектонических структур, геологическая карта, выступающая как эмпирическое средство (Онопrienko, 1974) и т. д.

Второй этап ретросказания, на котором осуществляется собственно теоретическое исследование, — межвременной переход. Поскольку эмпирическое описание современного состояния объекта не дает возможности прямо перейти к описанию прошлого состояния, то для этого необходимо такое теоретическое средство, которое бы обладало ретросказательной силой, способной преодолеть межвременной барьер. Такой силой обладают законы науки, инвариантные относительно времени (Никитин, 1966). Эти законы должны учитывать время либо с помощью определенной переменной, которая входит в функциональную зависимость (количественные законы), либо, как это чаще всего бывает в геологии, в виде отражения отношений разновременных событий (качественные законы). Это законы связи состояний, генетические, при-

чинно-следственные, функциональные, законы развития. В геологии к ним относятся, например, закон Стенона (структурно-вещественное подобие геологических объектов указывает на одинаковый способ их образования), закон Дарвина (одинаковая последовательность появления представителей одних и тех же таксонов в разобренных разрезах указывают на синхронность вмещающих их пород), закон Грессли (в одну и ту же эпоху на разных участках действовали различные факторы, так что разновозрастные отложения представлены в них неодинаковыми по свойствам образованиями) и т. д.

В результате межвременного перехода, как правило, восстанавливается лишь отдельный элемент целостного объекта, системы. Задача же состоит в восстановлении всей системы. Поэтому следующий этап — восстановление полной структуры объекта. При этом, в отличие от предыдущего этапа, применяются совершенно иные законы: структурные, коррелятивные, субстанциональные и т. д. В качестве исходных данных используются результаты ретросказания, т. е. некоторое выводное знание, из которого с помощью названных и других законов выводится знание о полной структуре объекта. Эта операция необходима при восстановлении сложных систем, каковыми являются геологические системы. Примером ее использования могут служить палеоэкологические, палеотектонические, палеоклиматические реконструкции, создание палеогеографических и других карт.

В геологии третий этап ретросказания часто усложняется, если восстанавливаются не «вещные» отношения и объекты, а процессы, обладающие динамической структурой. Тогда используемые при этой операции структурные законы являются вместе с тем времясодержащими законами и восстановление полной структуры объекта (в данном случае процесса) превращается в многоступенчатый межвременной переход (Никитин, 1966).

В связи с последним обстоятельством отметим следующее. В литературе (Косыгин, Соловьев, 1969, 1974; Соловьев, 1974) предложена плодотворная идея подразделения геологических задач на три основных типа: статические, динамические и ретроспективные. В основе деления на первые два класса лежит идея о двух типах структур: 1) структуры относительно устойчивых вещей (кристалла, геосинклинали и т. д.); 2) структуры процессов. Под первым понимается некоторый способ пространственного сочленения элементов вещи, под вторым — порядок временной последователь-

ности элементов процесса (Никитин, 1970). Статический и динамический структурные анализы не заменяют, а дополняют друг друга: в первом случае происходит отвлечение от внутренних процессов взаимодействия элементов предмета, от параметра времени, во втором — элементы рассматриваются прежде всего как существующие во времени, как процессы, направленные во времени.

Выделяя ретроспективный тип исследования, нельзя забывать, что, реконструируя прошлое, мы можем восстанавливать как предметы, так и процессы. Поэтому следует, видимо, различать ретроспективный статический и ретроспективный динамический аспекты исследования прошлого. При исследовании первого для восстановления полной структуры объекта *прошлого* используются структурные, коррелятивные, субстанциальные законы, а второго — времясодержащие, с помощью которых не только осуществляется межвременной переход, но и восстанавливается структура процессов прошлого.

В интересной статье В. В. Груза и С. И. Романовского (1974) выделяются две основные логические схемы переноса знаний, получаемых при изучении современных процессов, на геологическое прошлое. В первой схеме выводы об определенных характеристиках объектов или процессов прошлого получаются путем логической трансформации с помощью метода аналогий эмпирических данных исследования современного объекта (палеотектонические и палеоклиматические реконструкции, определение температур и давлений при образовании минералов). Использование этой схемы затрудняется, по мнению авторов, фактами конвергенции свойств исследуемых объектов и необратимостью геологических процессов, обуславливающей принципиальную невозможность экспериментальной проверки получаемого выводного знания. Вторая схема предполагает прежде всего построение модели механизма протекания процесса, на основе которой выводятся следствия о состоянии исследуемого объекта в настоящем, которые в свою очередь сопоставляются с опытными данными о реальных свойствах объекта.

В обеих схемах осуществляется процедура ретросказания. В первой — ретросказание реализуется двумя путями: «простым» (основание ретросказания, т. е. исходные эмпирические данные, — межвременной переход — результат ретросказания), минуя этап восстановления полной структуры объекта; например, определение температур и давлений при образова-

нии минералов; или усложненным путем, включающим этап восстановления полной структуры объекта; например, создание палеографических реконструкций. Во второй схеме ретросказание оказывается еще более сложным: при воссоздании механизма процесса на этапе восстановления полной структуры объекта используется многоступенчатый межвременной переход, поскольку вместо структурных и коррелятивных законов применяются времясодержащие законы (ретроспективное динамическое исследование).

В структуре процесса исследования ретросказание составляет определенный этап и поэтому имеет смысл выяснить его связь с другими этапами и методами познания. Ретросказание строится путем использования известного закона или теории. Но поскольку процесс открытия закона, построения теории есть в то же время и процесс объяснения тех объектов, на основе исследования которых они предложены (Никитин, 1970), то ретросказанию всегда предшествует объяснение, которое составляет основу для предсказания. Различие между ретросказанием и объяснением заключается в том, что объяснение может иметь своим объектом не только прошлый, но и ныне существующий предмет. Кроме того, объяснение и ретросказание различаются по структуре хода исследования. Задача объяснения состоит в том, чтобы найти исходные данные, описывающие изучаемые предметы, и законы науки, отображающие связь между этими предметами, из которых можно было бы вывести истинное положение, известное исследователю с самого начала. В ретросказании задача состоит в обратном: из имеющихся исходных данных и законов науки вывести неизвестное исследователю положение (Никитин, 1966).

Иная связь существует между ретросказанием и предсказанием. Эти две процедуры обладают «временной симметрией», противоположной направленностью хода познания. Отметим также, что эти две процедуры, следуя в динамической структуре исследовательского процесса вслед за этапом объяснения, в то же время находятся не на одинаковом уровне: предсказание занимает относительно более высокую ступень. Дело в том, что ретросказание выступает как основа предсказания. Как объяснение, так и ретросказание обладают в принципе предсказывающей силой, что обеспечивает не только познавательное значение этих процедур, но и возможность применения полученных с их помощью знаний в практике. В

то же время и предсказание, и ретросказание основываются на объяснении.

С помощью ретросказания объект может исследоваться прямо, но может косвенно, посредством изучения других, сходных с ним объектов. Этот второй путь, весьма характерный для геологического исследования, представляет собой модельное ретросказание. Оно предлагает возможность использования в структуре процедуры законов, отображающих предметную область объектов, сходных с объясняемым. Это положение, видимо, нужно относить не только к законам, с помощью которых восстанавливается полная структура объекта, но и к времясодержащим законам, которые дают возможность осуществить межвременной переход. Скепсис по отношению к возможностям ретросказания обусловлен в значительной мере его модельным характером. Однако это существенное свойство геологического ретросказания не означает принципиальной нереализуемости этой процедуры, хотя, несомненно, усложняет критерии истинности получаемого знания.

Ретросказание в геологии осуществляется с помощью определенных методов, к которым прежде всего нужно отнести моделирование, аналогию, гипотезу. Эти методы, как известно, универсальны. Однако применяясь для ретросказания, они приобретают определенную специфику при решении типовых задач, превращаясь в ретросказательное моделирование, ретросказательную аналогию, ретросказательную гипотезу. Например, актуализм в геологии — специфичное применение метода аналогий для решения ретросказательных задач, т. е. актуализм — метод ретросказательной аналогии, одна из особенностей которого состоит в обратной поляризации вектора времени, а сам процесс реконструкции осуществляется опосредованно, через соответственно сконструированные аналоговые системы.

Слабые звенья ретросказания в геологии

Можно попытаться выделить некоторые слабые звенья и трудности на пути реализации процедуры ретросказания в геологии, чтобы затем найти средства для «усиления» этих звеньев.

Одна из существенных трудностей на пути построения ретросказательных конструкций в геологии — это фиксация «следов прошлого» в существующих системах. При конструировании модели прежде всего осуществляется пространствен-

но-временная локализация конкретного геологического объекта, который с гносеологической точки зрения можно рассматривать как совокупность исходных данных для осуществления реконструкции (Беляев, 1975; Никитин, 1966). Это первый этап моделирования — конструирование исходного объекта как первого элемента общей системы аналоговых отношений. Трудности здесь связаны, с одной стороны, с масштабностью моделируемой геологической системы, с множественностью факторов, определяющих ее пространственно-временную структуру; с другой стороны — со сложностью самого отбора соответствующих компонентов для конструирования именно данного исходного объекта (Беляев, 1975). Дело в том, что очень трудно зафиксировать элементы именно той геологической системы, которая реконструируется, отделив их от других «следов», более раннего или более позднего происхождения. Различные наложенные процессы порой до того усложняют картину, что становится невозможным точно и определенно установить и зафиксировать реконструируемый объект. Естественно, что в таких условиях падает и ценность знания, получаемого в результате ретросказания. Выбор и фиксация объектов для ретросказания в значительной степени зависит от характера и развитости теории той или иной геологической отрасли, хотя этот этап исследования и носит несомненно эмпирический характер. Именно с помощью теории, абстрактных методов становится возможным отбор исходных данных, фиксация объекта ретросказания.

На этапе межвременного перехода особое значение приобретают законы и теории науки, при помощи которых осуществляется вывод результатов ретросказания. В геологии это, пожалуй, самое слабое звено на пути получения исторического знания. Неопределенность представлений о геологических времясодержащих законах, малое количество сформулированных законов, отсутствие современных теорий зачастую лишают процедуру ретросказания смысла, подменяя ее другими познавательными операциями. Так, нередко процедура ретросказания подменяется выводом по аналогии, когда эмпирические знания, полученные в ходе исследования современных явлений и процессов, проецируются на явления и процессы прошлого с теми или иными, обычно некорректными, оговорками. Очень распространена в геологии ситуация, когда вместо времясодержащих законов и теорий, необходимых для реализации межвременного перехода, используются гипотезы, применение которых в процедуре ретросказания хотя

и не возбраняется, но, как правило, должно «подстраховываться» всем комплексом других познавательных средств вывода знаний, уже не являющихся гипотетическими, которые в общей системе сглаживают ущербность отдельных гипотетических законов. В геологии же вся система этих средств перегружена гипотезами разных уровней и степеней истинности.

То же самое можно сказать и о законах, обслуживающих операцию воссоздания полной структуры реконструируемого объекта. Хотя, как правило, представления о коррелятивных, структурных, субстанциональных законах, используемых для этой операции, более определены, однако и здесь проявляются общие недостатки состояния категориальной базы геологии. На этом этапе ретросказания широко применяются в геологии модельное ретросказание и объяснение.

Нередка в геологии и такая ситуация, когда времясодержащие законы, с помощью которых осуществляется межвременной переход, трактуются как структурные законы вследствие того, что из-за постоянства действия некоторые из них понимаются как аксиомы частных, однотипных ретросказаний. Создается иллюзия использования операции воссоздания полной структуры объекта вместо межвременного перехода, хотя без последнего невозможно ни одно ретросказание. Так, в книге «Стратиграфия и математика» (1974) времясодержащие законы стратиграфии рассматриваются исключительно как структурные, что в итоге приводит к исключению из рассмотрения двух существенных аспектов этой отрасли геологического знания: временного и историко-генетического.

Актуальной для геологии является проблема определения глубины действия законов, применяемых для процедуры ретросказания. Дело в том, что в зависимости от этой глубины можно выделить различные типы ретросказаний, различающиеся по достоверности получаемого знания: 1) ретросказание на основе собственных законов исследуемого объекта с наиболее высокой степенью достоверности получаемого знания; 2) модельное ретросказание, основанное на возможности применения метода аналогий с внесением определенных коррективов относительно сходства и различия между объектами прошлого и настоящего, что обуславливает более низкую достоверность получаемой информации; 3) гипотетическое ретросказание, применяемое к объектам, законы которых принципиально отличны от законов современных объектов; этот тип характеризуется самой низкой достоверностью результатов.

Прогресс ретросказательного метода связан с постепенным переходом от гипотетических ретросказаний к модельным, от модельных — к ретросказаниям на основе собственных законов (Никитин, 1966). Актуализм в лайелевской интерпретации следует рассматривать как ретросказание на основе собственных законов (хотя для таких претензий не было реальных возможностей). В современном же понимании — это метод модельного ретросказания (Онопrienко, 1973).

В геологии довольно типичной является ситуация, когда четко не разделяются эти типы ретросказаний, что приводит в итоге не только к снижению достоверности получаемой информации, но и обесценивает те или иные теоретические конструкции. Так, нередко собственные законы объекта используются по существу для модельных и гипотетических ретросказаний, хотя это совершенно необоснованно. Вообще говоря, задача определения границ проявления законов, применяемых при ретросказании, одна из самых первых и основных при получении исторического знания в геологии.

Одно из больших затруднений на пути применения процедуры ретросказания — это статистический характер действия геологических законов. Среди статистических законов существует много таких, которые обладают предсказательной, но не ретросказательной способностью (Никитин, 1966). Дело в том, что на основе вероятностей предшествующих событий можно определить вероятности последующих, а обратное возможно не всегда в силу невозможности отделить от вероятности последующих событий вероятность более ранних событий.

Большие трудности вызывает проверка информации, полученной путем ретросказания. Во многих работах, появившихся в последние годы (Беляев, 1975; Воронин, Еганов, 1971; Груза, Романовский, 1974; Еганов, 1974; Косыгин, Соловьев, 1969, 1974; Соловьев, 1974), в качестве причин, затрудняющих проверку историко-геологических реконструкций, называют факты конвергенции свойств исследуемых объектов, необратимости эволюции геологических процессов, невозможности экспериментального воссоздания прошлых процессов и явлений и т. д. Все это действительно весьма серьезные препятствия на пути применения ретросказания, кстати говоря, специфичные не только для геологии, а общие для всех исторических наук. Поэтому, на наш взгляд, задача состоит не в декларировании скепсиса в отношении исторических построений в геологии, а в попытке разработать пути совершенство-

вания их. Поэтому нужно приветствовать конструктивный подход В. В. Груза и С. И. Романовского (1974), которые предлагают «усилить» возможность проверки получаемого в результате ретросказания выводного знания путем сопоставления его с эмпирическими и экспериментальными данными о состоянии исследуемого геологического объекта в настоящем.

Оценивая значение процедуры ретросказания в геологии, можно сказать, что высказанное в литературе справедливое недоверие к возможностям ее использования в геологии (Воронин, Еганов, 1971; Груза, Романовский, 1974; Еганов, 1974; Косыгин, Соловьев, 1974) должно относиться не к принципиальной порочности самой процедуры, она вполне применима и необходима для получения исторических знаний, а к тем средствам, с помощью которых она осуществляется в геологии. Именно последние обесценивают ее результаты. Кроме того, необходимо принять во внимание довод о нецелесообразности и необоснованности применения ретросказания в ряде случаев для решения задач предвидения в геологии (Воронин, Еганов, 1971; Еганов, 1974), поскольку, как было показано выше, ретросказание не всегда обладает предсказывающей силой.

В качестве итогов попробуем представить некоторые соображения о специфике ретросказания в геологии:

преобладание в геологии модельных и гипотетических ретросказаний;

метод актуализма, на котором строится здание исторических реконструкций в геологии, представляет собой метод ретросказательной аналогии;

преимущественное использование гипотез в качестве времясодержащих законов и теорий — для осуществления межвременного перехода;

статистический характер геологических законов, обуславливающий невозможность ретросказаний некоторых процессов;

неопределенность представлений о геологических законах вообще и в особенности о времясодержащих законах;

ретросказательная модель в геологии является по существу пространственно-временной и поэтому большое значение здесь приобретает принцип пространственно-временной локализации модели.

Пути совершенствования исторических построений в геологии

Формулируя задачи по совершенствованию исторических построений в геологии, следует всегда помнить о специфике исторического познания, об отличиях исторического исследования от естественнонаучного. Главная особенность исторического познания заключается в «индивидуализирующем» типе исследования, что как раз и определяет «эмпиричность» исторических наук, в частности, геологии (имеется в виду ее историческая составляющая). Конечно, при этом нельзя абсолютизировать специфику исторического познания, но вместе с тем, предпринимая попытки применить в историческом исследовании точные методы, распространяя на историческую науку общие критерии научности, выработанные современной логикой науки и методологией, нельзя игнорировать ее специфичность. Дело в том, что разделение типов научного исследования на генерализующий и индивидуализирующий обусловлено принципиальными различиями в онтологических системах естественных и исторических наук, а эти последние различия детерминируют включение в систему научных знаний точного аппарата (Ракитов, 1969).

В качестве общей задачи совершенствования исторического познания в геологии следует назвать «усиление» слабых звеньев процедуры ретросказания. Прежде всего это касается проблемы обоснования геологических исторических законов. Здесь образовался заколдованный круг: результаты ретросказания обладают малой достоверностью из-за необоснованности исторических законов в геологии, а эти законы необоснованы потому, что на основе знаний, полученных путем ретросказания, невозможно выделить устойчивые, необходимые связи в геологической истории. В такой кризисной ситуации можно попытаться дать некоторые методологические рекомендации, способствующие выходу из нее.

Характерный для естественнонаучного познания, генерализующий, ведущий к познанию законов тип исследования предполагает наличие идеализированных объектов, которые не даны непосредственно, а являются результатом некоторой предварительной процедуры абстрагирования. Законы естественного познания сформулированы как раз по отношению к таким идеализированным объектам, а не к индивидуальным предметам, представляющим совокупность бесконечного множества параметров и характеристик. Обычная попытка сформулировать законы истории заключается в том, что при этом в ка-

честве исходных берутся конкретные исторические индивидуальности, феномены с безграничным количеством признаков и отношений. Поэтому в качестве результата исторического исследования в таком случае получают знания о других подобных индивидуальных объектах и их взаимоотношениях, но не законы науки. Для превращения исторической науки в теорию с собственными законами необходимо, чтобы она включала в себя в качестве обязательных элементов правила построения идеализированных объектов и правила перехода от идеализированных объектов, для которых будут сформулированы законы, к конкретным индивидуальным объектам.

А. И. Ракитов отметил парадокс, характерный для исторических наук, касающийся вопроса о природе исходного объекта: объектом исторического исследования называют объекты, не существующие в момент исследования. На самом же деле такими объектами, составляющими онтологическую систему исследования, всегда должны являться «феномены, с которыми исследователь непосредственно имеет дело в процессе решения исследовательской задачи» (Ракитов, 1969, стр. 174). Поэтому объектом исследования в исторической науке должны быть «следы прошлого», по которым реконструируется история и которые являются исходными для формирования идеализированных объектов. Результатом же исторического исследования являются новые знания о событиях, объектах, процессах прошлого. Это знание может быть различной природы: знание об отдельных объектах, о последовательности событий, знание законов и т. д. Каким же образом можно верифицировать выводное знание, полученное на основе исторических законов? В естественнонаучном познании верификация выводного знания производится на основе эксперимента (Ракитов, 1964). То же можно предположить и для исторического познания, но речь в данном случае должна идти об особом, «историческом» эксперименте. Это вид мысленного эксперимента, схема которого в отношении геологии в общих чертах уже намечена (Груза, Романовский, 1974). Задача, видимо, состоит в том, чтобы, используя и дифференцируя эту схему, разработать и другие ее варианты, которые дадут возможность повысить степень верифицируемости геологического знания, получаемого путем ретросказания.

Другой путь совершенствования исторических построений в геологии заключается в дифференциации и уточнении самой процедуры ретросказания. Е. А. Беляевым предложено разбиение межвременного перехода на ряд отрезков, для ко-

торых строится промежуточная ретросказательная модель, необходимая для пространственно-временной локализации определенных интервалов межвременного перехода (Беляев, 1974). На этих интервалах происходит пополнение исторической информацией за счет дополнительной, коррелятивной информации, порождаемой дополнительными связями, возникающими в силу специфики изменения геологических систем с течением времени. Построение такой цепочки моделей-аналогов создает возможность последовательного уточнения как результатов ретросказания, так и самих законов, используемых для осуществления межвременного перехода.

Эта идея может быть дополнена и конкретизирована другой, учитывающей специфику геологического знания (Беляев, Оноприенко, 1975; Оноприенко, 1972). Разбиение временной составляющей на определенные отрезки так, чтобы в узловых точках можно было получить более или менее достоверную дополнительную информацию, выделение «опорных элементов» аналоговых систем возможно на основании представлений о цикличности геологических процессов. В ходе циклического развития на определенных временных интервалах создаются состояния объектов, которые можно рассматривать как инвариантные, и именно эти временные интервалы должны выбираться в качестве опорных при построении промежуточных ретросказательных моделей. Сложная иерархичность геологических циклов позволяет детализировать связи и обстановку при построении промежуточных моделей и, как бы нисходя по ступеням иерархии циклов, учесть элементы необратимости, отличающие один цикл от другого. Естественно, что эта общая идея требует еще своей конкретизации при построении геологических исторических конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

Беляев Е. А. О некоторых особенностях применения метода аналогий в геологии. — В кн.: *Методологические проблемы геологических наук*. Киев, «Наукова думка», 1975.

Беляев Е. А., Оноприенко В. И. Идея цикличности в системе геологического знания. — В кн.: *Методологические проблемы геологических наук*. Киев, «Наукова думка», 1975.

Воронин Ю. А., Еганов Э. А. О генетическом и агенетическом направлениях в геологии. М., ВИНТИ, депонир., 1971, № 3934-72.

Груза В. В., Романовский С. И. Принцип актуализма и логика познания геологического прошлого. — *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, 1974, № 2.

Еганов Э. А. Проблемы образования и размещения пластовых фосфоритов. Н., «Наука», 1974.

Елсуков А. Н. Критика неопозитивистской интерпретации закона и его роли в социально-историческом исследовании. — В кн.: Диалектика социальных явлений. М., Изд-во Моск. ун-та, 1968.

Елсуков А. Н. Проблема объяснения в социально-историческом исследовании. — В кн.: Философия, методология, наука. М., «Наука», 1972.

Кон И. С. Неопозитивизм и вопросы логики исторической науки. — «Вопросы истории», 1963, № 9.

Кон И. С. К спорам о логике исторического объяснения (схема Поппера-Гемпеля и ее критики). — В кн.: Философские проблемы исторической науки. М., «Наука», 1969.

Косыгин Ю. А., Соловьев В. А. Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1969, № 6.

Косыгин Ю. А., Соловьев В. А. Принцип историзма и тектоника. — «Геология и геофизика», 1974, № 5.

Никитин Е. П. Метод познания прошлого. — «Вопросы философии», 1966, № 8.

Никитин Е. П. Объяснение — функции науки. М., «Наука», 1970.

Онопrienко В. И. Проблема цикличности в теоретической геологии. — «Геологический журнал», 1972, № 6.

Онопrienко В. И. Вопросы истории и методологии геологических теорий. — «Изв. АН СССР, Сер. геол.», 1973, № 2.

Онопrienко В. И. Геологическая карта. Опыт геосеологического анализа. — В кн.: Методологические вопросы геологических наук. Киев, «Наукова думка», 1974.

Ракитов А. И. Статистическая интерпретация факта и роль статистических методов в построении эмпирического анализа. — В кн.: Проблемы логики научного познания. М., «Наука», 1964.

Ракитов А. И. К вопросу о структуре исторического исследования. — В кн.: Философские проблемы исторической науки. М., «Наука», 1969.

Соловьев В. А. Разработка систем понятий и упорядочение тектонической терминологии. — В кн.: Тектоника и геофизика. Хабаровск, 1974.

Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974.

СООТНОШЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Ю. А. Косыгин, Н. Г. Горелова, Ю. С. Салин, В. А. Соловьев

Существует много взаимоисключающих высказываний о соотношении физического и геологического времени. По С. Н. Бубнову, в геологии понятие времени «определяется биологически и не имеет ничего общего с физическим понятием времени» (Бубнов, 1960, с. 26). Г. Харрингтон (Harrington, 1965)

считает, что «геологическое время — это астрономическое, физическое время, время всех естественных наук... Должно быть ясно с самого начала, что нет такой вещи, как специальное геологическое время» (стр. 1610).

Прежде всего разберемся, зачем нам надо выяснять соотношения геологического и физического времени. Если геологическое время используется всего лишь как полезная структурная характеристика (так это делается в геологическом картировании, стратиграфии, тектонике), то можно допустить произвольные соотношения этого понятия с физическим временем. Но дело резко меняется, как только переходим к историческим реконструкциям. При восстановлении геологической истории мы сначала наблюдаем ход современных геологических процессов в физическом времени, а затем переносим результаты наблюдений в прошлое, располагая восстановленные события в последовательности геологического времени и связывая их отношением геологической одновременности. Эта операция правомерна лишь в случае совпадения понятий геологического и физического времени, в противном случае происходит лишь подмена понятий, обозначаемых одним термином «время».

В каких случаях мы можем говорить о совпадении или несовпадении понятий? Понятие — всегда логическая конструкция, которая выводится по каким-то правилам из какого-то исходного материала. Сразу становится ясным, что физическое и геологическое время — разные понятия. Физическое — выводится из наблюдений над текущими событиями, геологическое — из наблюдений над абсолютно статичными характеристиками: геологическими свойствами, объектами, отношениями. Различны и процедуры логического вывода, естественно, различным получается и окончательный продукт — физические и геологические временные понятия. Выяснить их взаимоотношения можно только на некотором эмпирическом материале.

Эмпирические связи между топологическими свойствами физического и геологического времени

И в физическом и в геологическом времени отношения одновременности выводятся из отношений разновременности, поэтому сосредоточим внимание именно на них. Отношения разновременности одностепенных событий и в геологии и в фи-

зике устанавливаются посредством операции непосредственного наблюдения.

Эмпирическая связь между физической разновременностью наблюдаемых событий и геологической разновременностью реконструированных одноместных событий обобщается законом Стено. Этот закон на эмпирически изученном множестве объектов устанавливает взаимнооднозначное соответствие анализируемых отношений. По крайней мере, однозначное соответствие устанавливается: если пласт *a* лежит выше пласта *b*, то событие, сформировавшее пласт *a*, произошло позже события, сформировавшего пласт *b*. Так как эмпирически изученное множество очень велико, установленная связь вполне обоснованно возводится в ранг универсального детерминированного закона.

Разновременность разноместных событий в физике и в геологии устанавливается различно. В физике разновременность события в точке *A* и события в точке *B* устанавливается операцией наблюдения за воздействием одного из них на другое. Воздействующее при этом считается происшедшим ранее. В геологии для установления разновременности реконструированных событий в точках *A* и *B* необходима предварительно проведенная синхронизация некоторых вспомогательных событий *A_k* и *B_t*. Если событие *A_n* согласно закону Стено предшествует *A_k*, а *B_m* следует за *B_t*, то *A_n* считается происшедшим раньше *B_m*. Приходится обратиться к анализу взаимоотношений между геологической и физической одновременностью. Геологическая одновременность устанавливается по сходству палеонтологических признаков согласно закону, позволяющему интерпретировать это сходство как одновременность. Как было показано раньше, между геологическими и физическими временными понятиями нет необходимой логической связи. Не существует и наблюдаемого материала для выведения эмпирической связи между физической и геологической одновременностью. Не наблюдались непосредственно ни физическая одновременность эволюционной или фациальной смены фаун, флор, отдельных таксонов органического мира, ни физическая одновременность смены физико-географических обстановок, приводящая к смене литологического состава толщ или отдельных литологических характеристик. Поэтому закон Смита и аналогичный ему за-

кон, касающийся литологического сходства, следует рассматривать либо как определение, вводящее новое понятие «геологическая одновременность», не имеющее никакого отношения к физической одновременности, либо, если одновременность, упоминаемую в обоих законах, понимать как физическую, то эти утверждения следует рассматривать как умозрительные, физически бессодержательные, не опирающиеся ни на какие наблюдения над реальным миром.

Р-одновременность

Попробуем, используя реконструированные события, вывести физическую одновременность в геологии так же, как она выводится в физике на основании наблюдаемых событий. Будем исходить из эйнштейновского сигнального определения как из единственного определения физической одновременности. Относительно синхронизации при помощи транспортируемых часов примем точку зрения Ю. Б. Молчанова (1970), согласно которой этот способ рассматривается как попытка определить время независимо от реальных физических взаимодействий, другими словами, как попытка возвратиться к «абсолютному» времени Ньютона. В качестве исходного материала примем геологическую карту. Любую границу реальных геологических тел на ней можно интерпретировать как конец одного события (биологического, седиментологического, физического) и начало другого. Распространение начала некоторого реконструированного события можно использовать для установления физической разновременности так же, как используется распространение сигнала в физике. Однако в физике, проследив распространение сигнала от точки А в момент времени t_{A1} до точки В в момент времени t_{B1} , всегда можно делать вывод не только о разновременности моментов t_{A1} и t_{B1} , но и об их временном порядке (t_{A1} раньше t_{B1} или наоборот). Позволяет делать такие выводы наличие в физике уникального момента «сейчас», момента наблюдения. Наблюдая в момент времени t_1 событие в точке А и зная, что то же событие фиксировано в момент t_1 в точке В, мы можем сделать единственный вывод о предшествовании момента t_1 В-времени моменту t_1 А-времени. Отметим попутно, что так же, как и в геологии, в физике сопоставлению временных последовательностей в точках А и В должна предшествовать процедура идентификации событий: необходимо знать, что в этих точках мы фиксируем одно и то же,

а не разные, хотя и не отличимые по всем параметрам, события. Окончательным критерием идентификации события может служить лишь экспериментальное установление пространственной непрерывности распространения события между рассматриваемыми точками. Однако такая прямая идентификация практически неосуществима. Используются какие-то косвенные методы идентификации. По-видимому, они просты и однозначны, с ними не связано никаких проблем; по крайней мере, физики о таких проблемах не спорят и не говорят.

В геологии, идентифицировав реконструированные события и зная, что моменты начала некоторого события в точках А и В одновременны, мы не можем сказать, какой из них раньше, какой позже. В геологии нет уникального момента «сейчас», заданного актом наблюдения и позволяющего делать выводы о временной последовательности. Все моменты здесь одинаково прошедшие с точки зрения наблюдателя.

Палеонтологи и литологи обычно говорят, что известно направление распространения реконструированных литологических и биологических событий: направление трансгрессий и регрессий, положение центров возникновения и направление миграции новых форм и т. д. Однако при этом предполагается уже осуществленной предварительная синхронизация разноместных событий; если в точке А начало события фиксируется согласно закону Стено до определенного временного уровня, а в точке В — после, делается вывод о распространении события от А к В. Ранее уже говорилось, что такая синхронизация могла быть проведена лишь в геологическом времени, но не в физическом. Использовать геологическую одновременность для установления физической одновременности нельзя. Не имея вспомогательного уровня изохронности, мы теряем возможности установить физическую временную последовательность разновременных разноместных реконструированных событий.

Решение задачи остается неопределенным. Вариантов решения два: начало события в точке А было раньше, чем в В, или наоборот. С целью минимизации максимального риска можно принять третье решение — анализируемые моменты одновременны. Очевидно, что оно противоречит принятому ранее выводу о разновременности. Проанализируем это противоречие. По Эйнштейну, одновременность в физике устанавливается следующим образом (рис. 1).

Из точки А в момент t_1 А-времени выходит сигнал, достигает точки В в момент t_1 В-времени, отражается и возвра-

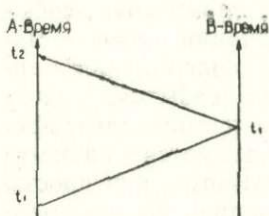


Рис. 1.
Определение одновременности
по А. Эйнштейну

щается в точке А в момент t_2 В-времени. Если сигнал распространяется с максимально возможной, световой скоростью, то ни одно событие, происходящее в точке А в промежутке между моментами t_1 и t_2 А-времени, не может воздействовать на событие, происходящее в точке В в момент t_1 В-времени. Интервал t_1-t_2 представляет собой «мертвую зону» для событий, происходящих в В в момент t_1 . Одновременность, по Эйнштейну, определяется невозможностью любых материальных взаимодействий. Следовательно, любой момент А-времени в интервале t_1-t_2 одновременен моменту t_1 В-времени. Выбор одного из них произволен с точки зрения принятого критерия; по Эйнштейну, выбирается момент посередине интервала. Это соответствует одинаковой скорости распространения сигнала туда и обратно.

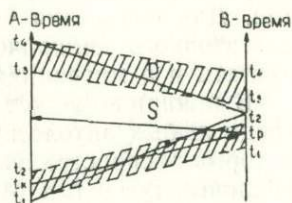
Если целью исследования является установление возможности или невозможности не любых, а только некоторых материальных взаимодействий p , распространяющихся с фиксированной скоростью V_p , то можно ввести ослабленное требование одновременности.

P -одновременность будет означать невозможность взаимодействий, распространяющихся со скоростью не более V_p .

Если скорость V_s распространения сигнала S больше V_p , то разновременность, установленная по сигналу S , будет соответствовать одновременности по P . Можно иллюстрировать такую связь рисунком (рис. 2): между моментами t_1-t_2 А-времени и моментами t_1-t_2 В-времени возможно взаимодействие S -событий, но невозможно взаимодействие P -событий.

В соответствии с изложенным можно избежать противоречия, истолковывая моменты начала одного и того же события K в разных точках как одновременные, если понимать одновременность, как невозможность не любых взаимодействий, а только взаимодействий, распространяющихся со скоростью меньшей V_k .

Рис. 2. Определение Р-одновременности



Большая и меньшая изохронность

Таким образом, если на построенной геологической карте выделены непрерывные геологические тела и если смену в разрезе одного тела другим интерпретировать как момент начала геологического события, сформировавшего верхнее тело, то подошву такого тела можно истолковывать как уровень физической изохронности, понимаемой как невозможность материальных взаимодействий, распространяющихся со скоростью меньше скорости распространения данного события.

Если для данного фрагмента геологического пространства известно распространение тел только одной специализации, пластовые границы этих тел и приходится принимать за уровни изохронности. Если же известно распространение тел разной специализации, появляется возможность среди всех известных границ выбирать уровни большей и меньшей изохронности. В случае непересечения границ разной специализации все они, как равноправные в топологическом пространстве, могут быть приняты за уровни изохронности. В случае пересечения границ возникает противоречие, которое можно ликвидировать, выбрав в качестве изохронной лишь одну из взаимно пересекающихся границ. Выбираем соответствующую реконструированному событию, распространяющемуся с большей скоростью. Для сравнения скоростей имеется большой эмпирический материал. Наиболее изохронными были бы границы, выделенные по следам электромагнитных событий, распространяющихся со световой скоростью. Следы световых событий пока не различаются по геологическим данным, магнитные события (инверсии, миграции магнитного полюса) в настоящее время восстанавливаются. Далее в этом скоростном ряду следуют процессы распространения фронта выпадения пеллов при вулканических извержениях. С меньшей

скоростью распространяются прочие литологические события. Для сравнения большинства из них друг с другом нет достаточного эмпирического материала. То же самое можно сказать и о миграциях биологических изменений.

В принципе может быть поставлена задача выявления среди любых литологических и биологических событий таких, которые распространяются со скоростью магнитных сигналов, пепловых туч и т. д. Может быть найден и материал обучения для распознавания медленно распространяющихся событий — трансгрессий моря, миграций биоценозов и т. д. Для каждого такого класса событий должны быть выявлены общие черты, отличающие их от всех других классов. Таким образом может быть установлена скорость распространения для многих реконструированных событий. Возможен и более прямой путь; в полноопределенном геологическом пространстве выделяем границы, совпадающие с границами, соответствующими событиям с известными скоростями распространения, выявляем общие и необходимые черты таких границ, распознаем их по этим чертам в неизвестных ситуациях.

Соотношения топологических характеристик геологического и физического времени

Мы выяснили, как восстанавливается топология физического времени по исходному материалу — непрерывно прослеженным в изучаемом пространстве геологическим телам. Появляется возможность установить соотношения между топологическими характеристиками геологического и физического времени. Согласно предложенному определению (Косыгин и др., 1974), представляющему собой логическое уточнение традиционного геологического понятия, одновременность устанавливается по сходству признаков некоторой единой системы. Для любой пары признаков А и В этой системы отношения между телами, обладающими этими признаками, должны быть одинаковыми во всех разрезах — либо А везде выше В, либо наоборот. Такая система обычно носит название сводной стратиграфической шкалы и используется как инструмент корреляции (Халфин, 1960), т. е. установления непрерывности геологических тел в трехмерном пространстве.

Геологическая синхронизация предшествует установлению пространственной непрерывности слоистых геологических тел. Непрерывность в дальнейшем интерпретируется как физиче-

ская изохронность. Следовательно, геологическая синхронизация предшествует физической.

Установив идентичность интервала геологического возраста, получаем возможность утверждать, что границы идентифицируемых непрерывных геологических тел не пересекают границ интервалов геологического возраста (Салин, 1974), находятся где-то внутри интервала. Интерпретируя непрерывность как физическую изохронность, получаем возможность утверждать, что изохронные поверхности находятся где-то внутри интервала геологического возраста, не пересекая его границ. Следовательно, и границы интервалов геологического возраста, т. е. геологически изохронные поверхности, находятся в отношении непересечения с установленными физически изохронными поверхностями. Отношения непересечения задают отношения эквивалентности в топологическом пространстве. Можно говорить поэтому, что геологически одновозрастные границы топологически эквивалентны физическим изохронным границам; мы вправе интерпретировать их как физически изохронные. Геологическая одновозрастность может быть представлена как первое приближение физической одновременности.

Сигнальная синхронизация по радиологическим данным невозможна

Все радиологические методы установления физического времени обладают тем недостатком, что дают только локальное время одной точки, А-время в терминологии Эйнштейна. Много точек — много изолированных времен. Для приведения их в единую временную систему необходима процедура синхронизации. Даже если бы все часы шли одинаково правильно, требовалась бы синхронизация их начальных или каких-нибудь других моментов. К тому же в ходе каждого часа возможны отклонения, так как на результаты регулярных процессов радиоактивного распада накладываются результаты других, нерегулярных процессов. Но сигнальная процедура синхронизации по радиологическим данным неосуществима — процессы радиоактивного распада не связаны с перемещением в пространстве, они происходят в каждой точке изолированно.

Возможно, для каких-то целей такое время, в каждой точке свое, и пригодно, но геология как наука, изучающая ста-

тику, динамику и историю своих объектов в пространстве нуждается во временной системе, где разноместные временные отношения имеют физический смысл.

Преимущества радиологических методов установления физического времени, по-видимому, лишь в том, что они дают метрику, причем в привычных астрономических единицах. Метрика всегда содержит и топологию, поэтому говорить об одновременности и разновременности можно и по радиологическим данным. Здесь эта одновременность имеет даже более привычный вид: можно говорить об одновременности с точностью до секунд, тысячелетий, сотен миллионов лет. Традиционные же геологические методы всегда оставляют подсознательное чувство неудовлетворенности: а позже *b*, но насколько? Вряд ли можно считать привычную для обыденного восприятия форму подачи данных серьезным научным аргументом, но с психологическим ее влиянием приходится считаться. Кроме того, радиологические данные воспринимаются в ореоле авторитета современной ядерной физики.

Синхронизировать многочисленные локальные радиологические часы сигнальным способом можно при помощи непрерывно распространяющихся событий прошлого — литологических, биологических, магнитных. Такую возможность предоставляют традиционные геологические методы синхронизаций. Показания радиологических часов должны исправляться в соответствии с проведенной проверкой. В тех интервалах, где контроля сигнальным способом еще не проведено, можно использовать радиологические данные и для установления топологических временных отношений (отдавая себе отчет в их физической бессодержательности) и для метризации. Таково, видимо, оптимальное сочетание радиологических и традиционных геологических методов установления физического времени в геологии. Существуют и другие пути метризации, например, по подсчету годовых слоев в ленточных глинах, по скорости осадконакопления и т. д. Подсчет слоев, хотя и основан на закономерной устойчивой эмпирически обоснованной связи, ограниченно применим из-за малочисленности объектов с сезонной слоистостью. Метризация времени по скорости осадконакопления сложна из-за большого разнообразия функций, связывающих время и мощность слоев, слабого их эмпирического обоснования и трудности установления граничных условий применения каждой отдельной функции. Радиологические данные при таком сравнении выглядят явно предпочтительными. Не может быть, однако, и речи о

том, что в будущем радиологические методы установления физического времени заменят собой традиционные геологические методы.

ЛИТЕРАТУРА

Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1960.

Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А. Философские проблемы геологического времени. — «Вопросы философии», 1974, № 2.

Молчанов Ю. Б. Классическая и релятивистская концепция времени и отношение одновременности. — «Вопросы философии», 1970, № 12.

Салин Ю. С. Теоретическое обоснование методов изучения слоистой структуры. — В кн.: Тектоника и геофизика. Хабаровск, 1974.

Халфин Л. Л. О тектоно-стратиграфическом направлении в геологии и принципах стратиграфии. — В кн.: Основные идеи М. А. Усова в геологии. Изд-во АН КазССР, Алма-Ата, 1960.

Harrington H. J. Space, things, time and events an essay on stratigraphy. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., vol. 49, N 10, 1965.

РЕКОНСТРУКЦИИ В СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ

В. И. Громин

Под реконструкцией в геологии понимается восстановление первоначального облика какого-либо геологического тела по его остаткам или воссоздание геологического процесса по его следам. Основные усилия геологов направлены на выполнение такого рода исследований, хотя сам термин «реконструкция» широко применяется лишь в некоторых геологических науках, например, в палеовулканологии (Луцицкий, 1971). Характерной чертой исследований, посвященных геологическому прошлому, является многозначность и противоречивость ответов на одни и те же вопросы с одновременным преувеличением степени достоверности таких ответов. Цель данной работы состоит в выявлении причин указанной многозначности и преувеличения степени достоверности интерпретации в одной из геологических наук — в структурной геологии.

Задачи реконструкции в структурной геологии пока не систематизированы. В зависимости от целей исследования намечаются следующие основные их типы:

- 1) определение количества и последовательности фаз (этапов, стадий и т. д.) деформации геологических тел;
- 2) определение ориентировки компонент напряжения;
- 3) определение направления перемещения геологических тел;
- 4) определение механических свойств вещества геологических тел на момент их деформации;
- 5) оценка давления и температуры;
- 6) определение деформированности толщ и величины их деформации;
- 7) определение первоначальной формы разрушенного геологического тела.

Рассмотрим в самом общем виде недостатки методов решения перечисленных задач. Более детальный анализ указанной проблемы в данной статье не проводится и может быть предметом отдельной работы.

Методы решения задач **первого** типа разработаны, по-видимому, наиболее слабо. Трудно найти пример полного совпадения количества и последовательности фаз деформации, определенных для одного и того же района различными геологами, работающими независимо друг от друга. В основе установления количества и последовательности фаз деформации лежит известный принцип пересечения, утверждающий, что из двух пересекающихся геологических тел пересекаемое тело древнее. К сожалению, не всегда просто определить, какое тело секущее, а какое — пересекаемое, например, в случае пересечения двух систем складок некоторых типов. В явном виде этот вопрос почти не обсуждается, предполагается, что геолог с помощью интуиции дает на него правильный ответ.

Принцип пересечения является главным и по существу единственным принципом, определяющим решение задач первого типа. Однако он не позволяет установить, в какой мере выводы, полученные при изучении малых объектов, можно применять для суждений о крупных объектах. По-видимому, следует говорить о необходимости соблюдения принципа соразмерности, выражающегося в требовании учета соответствия между малыми и крупными объектами. Конкретная форма такого соответствия в определенных ситуациях, очевидно, может быть установлена главным образом эмпирическим путем.

Другая трудность состоит в идентификации, или синхронизации фаз деформации, выделенных на отдельных, удален-

ных друг от друга участках. Пока не существует методов установления такой синхронизации, которая проводится интуитивно, иногда с использованием каких-нибудь косвенных данных.

Необходимо отметить также неопределенность основного в данном случае термина — «фаза деформации». В названии задачи первого типа автор не случайно в скобках упомянул «этапы», «стадии» и т. д. Часть исследователей использует эти слова как синонимы. Другие же авторы не ставят знака равенства между ними и считают, например, что «стадия» является частью «этапа». При этом не сообщаются критерии отличия «этапов» от «стадий». Ни те, ни другие авторы не дают конструктивных определений фазы (этапа, стадии) деформации.

В основе решения задач **второго** типа лежат факты, полученные при изучении деформации горных пород при высоких температурах и давлениях, имитирующих условия в земной коре. Экспериментально установлено, что главное нормальное напряжение, вызывающее максимальное сжатие, располагается параллельно: 1) биссектрисе острого угла, образованного сопряженными трещинами, 2) биссектрисе тупого угла, образованного системами пересекающихся полос излома (Kink Bands), 3) перпендикуляру к плоскости, в которой расположены будины, 4) перпендикуляру к сланцеватости, 5) особым направлениям в кристаллическом агрегате, которые обусловлены типом деформации кристаллов (трансляцией, двойникованием и т. д.). Казалось бы, что эти факты дают возможность разработать четкие критерии для определения ориентировки напряжений по результатам изучения обнажений горных пород и ориентированных образцов. В действительности же имеющихся данных недостаточно для формулировки соответствующих строгих критериев. В частности, отсутствует такое определение термина «сопряженные трещины», которое позволяло бы в полевых условиях однозначно устанавливать трещины указанного типа. В эксперименте сопряженными называются трещины, которые образуются одновременно, пересекают друг друга и располагаются косо к направлению максимального сжатия. В полевых условиях сопряженными можно назвать только те пересекающиеся трещины, для которых установлен факт одновременности и образования, что сделать, очевидно, нелегко.

Определение направления перемещения геологических тел (задача **третьего** типа) производится по принципам, отвечаю-

щим «здравому смыслу». Наиболее надежным считается использование смещения по разрыву маркирующих слоев (рис. 1а). Установление идентичности слоев по обе стороны от разрыва (совпадение последовательности, литологии, мощностей и т. д.) позволяет, очевидно, определить направление смещения блоков пород (на рисунке показано стрелками). Полученный результат считается достоверным, и, по-видимому, нет оснований возражать против этого.

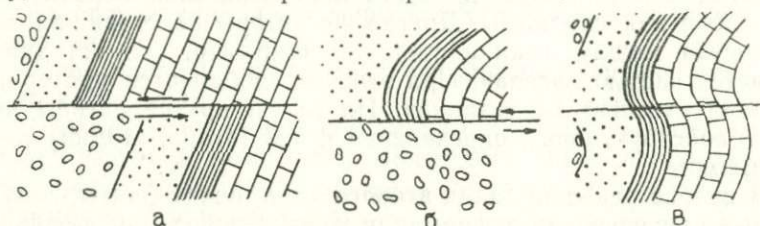


Рис. 1. Определение направления смещения блоков различных горных пород по разрыву: а — методом идентификации маркирующих слоев, б — методом исследования подворота слоев, в — «подворот» слоев как часть флексуры

В тех случаях, когда идентичность слоев по обе стороны от разрыва не может быть установлена, используется подворот слоев (рис. 1б). Полученный результат, как правило, также считается достоверным. Однако подворот слоев можно интерпретировать не только как их загиб при движении по разрыву, но и как первоначальную флексуру, впоследствии разрушенную разрывом (рис. 1в).

На протяжении многих лет аксиомой структурной геологии считалось утверждение, что «гладкое» направление на поверхности зеркала скольжения совпадает с направлением движения блока, который перемещался по данному зеркалу скольжения (правило Гофера). Гладким называется направление, по которому рука, скользящая по зеркалу, не ощущает шероховатости, не цепляется за уступчики. Достоверность указанной «аксиомы» считалась очевидной и вполне естественной до тех пор, пока в экспериментах по деформации горных пород не получили зеркал скольжения, противоречащих «аксиоме». Наблюдения в естественных обнажениях также подтвердили спорность правила Гофера и неприменимость его в ряде случаев. Тем не менее и в настоящее время некоторые исследователи оценивают как факт результат определения направления смещения блоков пород с использованием правила Гофера.

Определение механических свойств (упругости, пластичности, вязкости, прочности) вещества геологических тел на момент деформации в геологическом прошлом (четвертая задача), также как и оценка давления и температуры на тот же момент (пятая задача) являются наряду с первой задачей труднейшими в структурной геологии. По экспериментальным данным известна сильная зависимость механических свойств горных пород от условий деформации (давления, температуры, скорости деформации, наличия растворов и т. д.), которые для геологического прошлого не известны. Остается единственный путь для оценки палеомеханических свойств пород — установление связей между формой деформированных геологических тел, обычно называемых тектоническими структурами, и механическими свойствами вещества этих тел. Такие связи определяются экспериментально для эквивалентных материалов, реже для горных пород. Например, установлено, что чем больше пластичность материала, тем больше увеличение мощности слоя в замке складки, тем тоньше пластинки, нарезаемые сланцеватостью, и т. д. Эти факты позволяют соответствующим образом интерпретировать результаты наблюдения естественных обнажений. Если мы видим два слоя, смятых в складку, то считаем более пластичной (в прошлом) породу того слоя, для которого отношение мощности в замке к мощности на крыле складки имеет большую величину. В итоге оказывается возможной оценка относительных палеомеханических свойств пород. Такая оценка обычно считается достоверной и рассматривается как факт.

Действительно, сделанный вывод можно считать достоверным, если доказать, что отношение мощностей в замке и на крыле складки зависит только от пластичности породы. Однако такое изменение мощности слоя определяется также напряжением, длительностью деформации, неравномерностью мощности слоя до смятия его в складку, что необходимо учитывать при сравнении слоев не только различных, удаленных друг от друга складок, но и при изучении слоев одной и той же складки.

Систематические и последовательные исследования по определению давления и температуры, исходя из принципов структурной геологии, по-видимому, никем не проводились. Однако многие авторы в неявном виде предполагают прямую и однозначную зависимость между степенью деформированности толщ и величиной давления и температуры. Такое предположение не соответствует современным эксперимен-

тальным данным. Известно, что деформированность горных масс зависит от: 1) соотношения компонент напряжения; 2) длительности деформации; 3) механических свойств горных пород; 4) давления; 5) температуры и т. д. Форма всех этих зависимостей в основном нелинейная. Приведенные данные свидетельствуют о том, что определение давления и температуры только по степени деформированности пород является неразрешимой задачей.

Необходимо отметить, кроме того, что установление степени деформированности толщ (**шестая** задача) само по себе является сложным вопросом. Разработано много методических приемов для определения величины деформации: исследование формы включений (оолитов, конкреций, гальки, органических остатков и др.), сжатости складок, «расташенности» будин и т. д. В основе этих методов лежит допущение, что исследователю известна первоначальная форма деформированных объектов. Принимаются и другие предположения, как например, о сохранении объема тел при деформации. Вместе с тем не всегда осознается недоказанность принятых утверждений. Более того, как правило не учитывается определенная автономность включений, которые, не будучи жестко связанными со средой и обладая механическими свойствами, отличающимися от свойств среды, могут иметь иную степень деформированности, чем основная масса породы.

Следует отметить, что даже такая на первый взгляд несложная задача, как установление факта деформированности геологических объектов, иногда не имеет однозначного решения, так как некоторые структуры недеформационного происхождения практически не отличимы от деформационных структур.

Среди задач **седьмого** типа геологам наиболее часто приходится определять вид складки (антиклинальная или синклинальная), если от складки сохранилась только толща моноклинально залегающих слоев. Применяются различные допущения, и наиболее часто используется предположение о том, что малые складки на крыльях крупной должны быть опрокинуты в сторону замка антиклинали. Однако отдельные наблюдения не подтверждают данное предположение, что говорит о необходимости конкретизации границ его применения. По-видимому, здесь так же, как и при решении задач первого типа, необходимо соблюдать принцип соразмерности.

Таково краткое описание наиболее часто решаемых в структурной геологии задач реконструкции. Рассмотрим, ка-

ковы общие причины, вызывающие многозначность решений перечисленных задач и преувеличение достоверности получаемых результатов.

В соответствии с определением реконструкции указанные задачи относятся к обратным, что является главной причиной многозначности их решений. Этот недостаток свойствен не только структурной геологии, но и вообще всем геологическим исследованиям, направленным на познание прошлого Земли. Некоторые исследователи даже высказывали мнение о непознаваемости геологического прошлого. Действительно, с позиций понимания науки в узком смысле и с учетом требований формализации можно согласиться с таким мнением. Более того, с указанных позиций кажется естественным высказывание о невозможности строгого научного доказательства объективности существования мира и закономерностей, которым этот мир подчиняется. И все же современная наука основывается на признании объективности существования мира, на рассмотрении этой объективности как абсолютной истины, что подтверждается всем опытом человечества.

Аналогично можно подойти к оценке обратных задач в геологии, связанных с познанием прошлого. Решения некоторых из них являются однозначными, хотя и доказать это с упомянутых выше позиций не представляется возможным.

Убедительные примеры дает нам палеонтология. Обнаружение ископаемых костей свидетельствует о том, что в прошлом существовали определенные типы животных, которые вели соответствующий образ жизни (летали, ползали и т. д.). Представляется невозможным возражать против такого истолкования факта обнаружения ископаемых костей. Само истолкование рассматривается как истина, как факт. Более полная интерпретация обнаружения ископаемых костей, конечно, может быть гипотетичной, как, например, некоторые суждения о мягких тканях животных.

В структурной геологии также имеются задачи реконструкции, решение которых истинно. Не вызывает сомнения достоверность и однозначность определения направления и величины перемещения геологических тел методом идентификации маркирующих слоев (задача третьего типа, рис. 1а). Достоверным является также установление деформированности толщ и типа деформации (растяжение, сжатие), в частности, по форме органических остатков, например, по будинированным белемнитам (задача шестого типа).

Даже при решении сложнейших задач первого типа возможно получение однозначного результата. Имеются в виду исследования некоторых малых складок, полностью доступных непосредственному наблюдению хотя бы в двух—трех срезax. Если складка имеет сложную форму, например, такую, как на рис. 2, и состоит как бы из двух складок, причем первая является изгибом слоя, а вторая — изгибом первой складки, то объяснить образование такой сложной складки можно только как результат действия двух не синхронных и различных по ориентировке сил. Иными словами, складка возникла в результате двух фаз деформации. В данном случае определение числа фаз деформации и их последовательности для конкретной складки достоверно и однозначно, однако экстраполяция полученного результата на соседние со складкой области уже гипотетична.

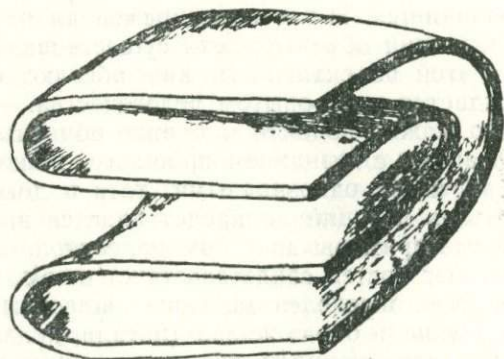


Рис. 2. Сложная складка, возникшая в результате двух фаз деформации

Решения остальных задач реконструкции неоднозначны, а оценка степени достоверности полученных результатов затруднительна. Одна причина такой неоднозначности уже указана (следствие того, что задачи являются обратными). Среди других общих причин можно назвать, судя по приведенному выше описанию типов и методов решения задач, следующие:

1. Использование принципов структурной геологии без учета границ их применимости, что наиболее ярко видно на примере решения задач третьего, шестого и седьмого типов.
2. Произвольное решение задач без учета соответствующих принципов структурной геологии. Например, очень часто не учитывается принцип соразмерности.

3. Отсутствие систематизации принципов структурной геологии и неудовлетворительное состояние терминологии.

Изложенные выше соображения дают основание наметить вероятное направление совершенствования методов решения задач реконструкции в структурной геологии. Дальнейшие исследования, по-видимому, целесообразно направить на систематизацию всех известных или менее четко сформулированных принципов (правил, законов, аксиом) структурной геологии; на выявление и формулировку других принципов, в настоящее время используемых в неявном виде; на конкретизацию границ применения каждого из них при одновременном упорядочении терминологии. Уточнение областей использования всех принципов необходимо проводить на базе целенаправленных полевых и экспериментальных исследований.

В итоге окажется возможным наглядно показать гипотетичность тех решений, которые сейчас считаются бесспорными, и выполнить отбраковку произвольных решений, не соответствующих принципам структурной геологии. В идеальном случае исчезнет та многозначность и противоречивость результатов, которая обусловлена современным несовершенством теоретического аппарата структурной геологии.

ЛИТЕРАТУРА

Лучицкий И. В. Основы палеовулканологии. М., «Наука», 1971.

МОЖНО ЛИ ПОСТРОИТЬ СТРАТИГРАФИЮ БЕЗ ИСТОРИКО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОСЫЛОК?

Ю. С. Салин, В. И. Синюков

В интерпретации функциональных связей между стратиграфией и исторической геологией редко наблюдаются расхождения. Если не всегда признается, что стратиграфия должна строиться исходя из потребностей исторической геологии, то по крайней мере имеется полное согласие относительно необходимости использования стратиграфических выводов при исторических построениях. В таком случае стратиграфические построения в цепи логического вывода должны предшествовать историческим. Включение историко-генетических посылок в процедуры решения задач стратиграфии приводит к логическому кругу. Чтобы обслуживать историческую гео-

логию, стратиграфия должна строиться как чисто статическая наука. Разделение геологии на статическую, динамическую и ретроспективную (историческую) принято по Ю. А. Косыгину и В. А. Соловьеву (1969).

Но даже если рассматривать стратиграфию как дисциплину, предназначенную исключительно для целей геологического картирования, включение историко-генетических посылок крайне нежелательно. Прежде всего, использование каких-либо ретроспективных характеристик при определении понятий стратиграфии делает эти понятия неоперациональными, так как никогда не указывается однозначной процедуры вывода используемых характеристик из наблюдений. Кроме того, это неизбежно приводит к субъективизму в построениях. «...Трудно указать признак объекта, который не мог бы быть истолкован в генетическом отношении, но невозможно указать и признак, который был бы истолкован в этом отношении однозначно, без тех иных допущений» (Борукаев, Парфенов, 1972, стр. 58). Истолкование, выбор допущений осуществляется субъективно. Но даже если бы все эти возражения и не были справедливыми, все равно решение историко-геологических задач более сложно, чем стратиграфических. Нерационально простые задачи решать при помощи более сложных (Воронин, Еганов, 1974).

Необходимость решения задачи без использования каких-либо посылок еще не означает возможности. Поэтому, как пишет С. В. Мейен (1974), в исходные наблюдения взаимоотношений «выше—ниже» между конкретными геологическими телами приходится вносить историко-геологические поправки: соотношения фиксировать не по вертикали (линии отвеса), а по предполагаемому направлению максимального градиента гравитационного поля Земли во время образования данного тела, учитывать только первичные (ни в коем случае не вторичные!) границы, только фауну *in situ* (отличая ее от переотложенной или смытой). Без таких поправок не работают даже «...самые ортодоксальные сторонники четкого отграничения «литостратиграфии» от «хроностратиграфии» и изгнания из первой понятия времени» (Мейен, 1974, стр. 11). Мы не являемся сторонниками изгнания из литостратиграфии понятия геологического времени, которое считаем очень полезной, необходимой структурной характеристикой. Непонятно нам, зачем отграничивать литостратиграфию от хроностратиграфии. Но как сторонники полного изгнания любых историко-генетических характеристик из чис-

ла исходных посылок стратиграфии, мы хотим показать, что воображаемые оппоненты С. В. Мейера недостаточно ортодоксальны.

воображаемые оппоненты С. В. Мейера недостаточно ортодоксальны. работе наиболее последовательно проводится очень распространенная точка зрения, с которой мы не согласны. Решение дилеммы очень важно. Если допустить хоть какой-то субъективизм, неоднозначность на входе некоторого построения, можно ли ожидать однозначных и объективных результатов на выходе?

Вектор отсчета стратиграфического положения тел

С. В. Мейен (1974) не приводит алгоритма вывода направления максимального градиента гравитационного поля Земли во время формирования исследуемых тел. Возможно, направление задается как перпендикуляр к поверхности, на которой происходило отложение материала под действием гравитации и которая наблюдается нами как поверхность напластования. При этом возможно введение поправок за первичную негоризонтальность поверхности накопления (практически негоризонтально дно моря, лавовые потоки формируются на склонах вулканов, многочисленны всевозможные случаи косякой слоистости и т. д.), тогда должен быть дан либо общий алгоритм выявления и исключения негоризонтальности, либо его модификация для каждой конкретной ситуации. В любом случае стратиграфические построения резко усложняются. Если же поверхность напластования просто принимается за первично горизонтальную, построение направления максимального градиента сводится к проведению перпендикуляра к поверхности напластования, «стратиграфической нормали». Но «стратиграфическая нормаль» — характеристика чисто статическая, наблюдаемая. Возможность ее построения, полезность, необходимость никак не связаны с историко-генетической интерпретацией. Соотношения между ними в последовательности логического вывода прямо противоположны. Из наблюдаемых отношений на «стратиграфической нормали» мы выводим хронологические взаимоотношения тел.

Целесообразно пойти на дальнейшее снижение требований к исходному материалу. Приняв за исходные данные положение тел на перпендикуляре к поверхности напластования, мы теряем возможность устанавливать стратиграфические отношения тел по данным скважинных наблюдений, во многих

других случаях, когда ориентировка напластования остается неизвестной.

В предыдущих работах (Салин, 1974) было предложено определять стратиграфические отношения двух точек а и б по их положению на линии отвеса: а выше б, если обе они находятся на одной вертикали и отметка точки а больше отметки б. Далее вводилось понятие стратифицируемых тел и стратифицирующих признаков. Если все точки одного тела во всех вертикальных разрезах, где оба тела встречены совместно, расположены выше (ниже) любой точки другого тела, то такие тела названы стратифицируемыми. Если в некотором множестве тел каждое является стратифицируемым относительно любого другого, такое множество назовем стратифицируемым комплексом. Понятие «стратифицируемый комплекс» можно представить как логическое уточнение «слоистых толщ» или «слоистых комплексов». Если все точки, обладающие признаком А во всех вертикальных разрезах, где оба признака отмечены совместно, располагаются выше (ниже) любой точки, обладающей признаком В, то такие признаки называются стратифицирующими друг относительно друга.

Введенное понятие близко к понятию вида, по которому можно выделять зону, вида-индекса зоны в толковании их В. И. Бодылевским (1964), Г. Харрингтоном (Harrington, 1965). Новое название предложено в связи с тем, что терминология зональных понятий очень запутана и неоднозначна, поэтому всегда есть риск, что термин будет понят не в том смысле, в каком хотелось бы. Кроме того, терминология зональных понятий ограничена их применением только к окаменелостям, стратифицирующие же признаки предлагается выбирать из числа всех имеющихся — палеонтологических, литологических, геохимических, геофизических и любых других.

Системой стратифицирующих признаков названа такая их совокупность, в которой каждый из признаков является стратифицирующим относительно любого другого. Стратифицирующая система используется как инструмент для корреляции разрезов. На любые варианты корреляции накладывается ограничение: границы тел не должны пересекать границ между стратифицирующими признаками. Если по одному и тому же исходному материалу можно построить несколько разных систем, в качестве единственной, предназначенной для корреляции, выбирается наиболее полезная. «Чем значительнее зональная последовательность,

тем, естественно, значение ее как основы для сопоставления разрезов будет больше» (Леонов, 1974, стр. 58), тем более дробную корреляцию она может обеспечить. На таких исходных посылках был построен алгоритм корреляции.

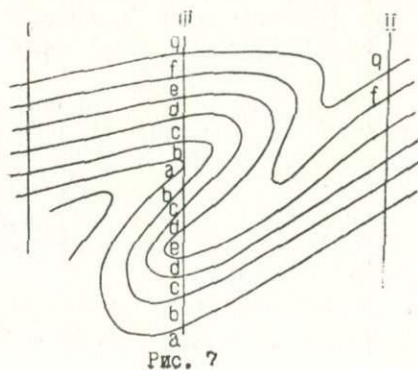
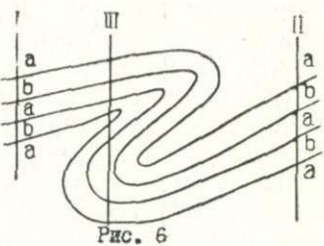
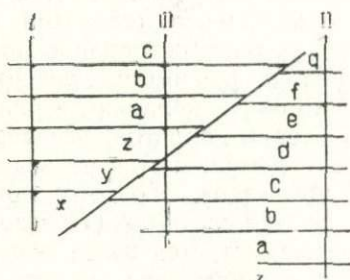
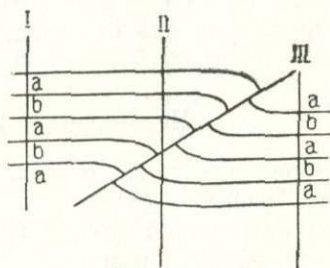
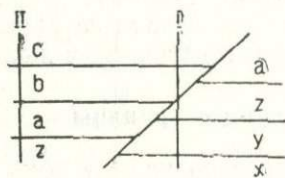
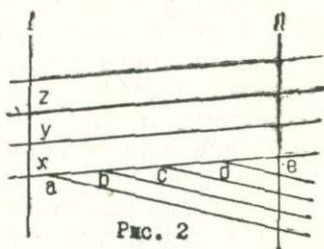
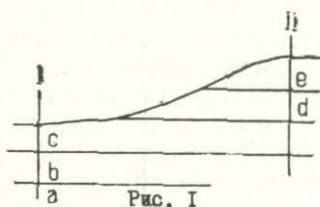
В исходные данные для построения стратифицирующей последовательности не введено никаких ограничений относительно первичных или вторичных границ, нормальных или опрокинутых залеганий, остатков *in situ* или лереотложенных и т. д. Выделяя эти случаи как особые, С. В. Мейен безусловно прав в том, что они представляют собой значительные трудности для статического подхода. Покажем, что эти трудности можно преодолеть, не выходя за рамки чистой статистики и не прибегая к историко-генетическим подпоркам.

Первичные и вторичные границы

Определим прежде всего свое отношение к тому статическому явлению, которое на языке исторической геологии названо «вторичной границей». Можно считать, по-видимому, что вторичная граница — это поверхность, прерывающая распространение стратифицируемого комплекса (слоистой толщи) или какой-то его части. Так как распространение может быть прервано дневной поверхностью, разломом, поверхностью размыва и несогласия, именно они и попадают в разряд вторичных. За исключением взбросов и надвигов, все разновидности вторичных границ никак не отражаются на взаимоотношениях стратифицирующих признаков, поэтому можно не обращать на них внимания, не делать никаких оговорок относительно их. Все, что было выше, остается выше, все, что было ниже, остается ниже, а это единственное, из чего мы исходим при построении стратифицирующей последовательности. Вторичные границы могут привести лишь к сокращению набора стратифицирующих признаков, к выпадению их части снизу, сверху, или изнутри.

Допустим, имеется разрез I, в нем фиксирована последовательность признаков *a*, *b*, *c* (рис. 1); потом выясняется, что эта последовательность сокращена за счет срезания современным рельефом, и в разрезе II есть признаки, залегающие выше *a*, *b*, *c*. В алгоритме предусмотрена процедура достраивания последовательности вверх. Реализуем эту процедуру. Никаких проблем не возникает.

Допустим, имеется разрез I, в котором фиксирована последовательность *a*, *x*, *y*, *z* (рис. 2). Впоследствии получен



разрез, в котором фиксированы выше а и ниже х признаки b, с, d, e. В алгоритме предусмотрена процедура «расставления» последовательности изнутри. Реализуем ее. Получаем последовательность а, b, с, d, e, х, у, z. Полная последовательность стратифицирующих признаков и в этом случае получена без введения понятий вторичных границ. Следовательно, и такая граница, как стратиграфическое несогласие, не нуждается ни в каких специальных оговорках при введении исходных отношений «выше—ниже» и разработке алгоритма построения стратифицирующей последовательности — инструмента для корреляции.

Допустим, имеется разрез I, в нем фиксирована последовательность х, у, z, b, с (см. рис. 3). Затем, по данным разреза II, выясняется, что есть признак а, залегающий ниже b и выше z. Расставляем последовательность, получаем х, у, z, а, b, с. Если при описании разреза, например, разреза скважины с неполным отбором жерна, мы пропустили, не заметили разлома сбросового типа, это не приведет ни к каким ошибкам. Наличие разломов сбросового типа не вынуждает вводить никаких поправок и ограничений на способы построения последовательности, на определение отношений «выше—ниже».

Сложнее дело в случае взбросового и надвигового типа. Рассмотрим два крайних случая. В первом из них оба блока пусть будут сложены комплексами, в которых все признаки повторяются, среди них нет стратифицирующих; во втором имеются отчетливые последовательности.

Где бы мы ни проводили разрезы (см. рис. 4), пересекают ли они поверхность надвига или нет, в любом случае стратифицирующей последовательности мы не получим, наличие надвига никак не отразится на результатах, вводить это понятие ни к чему.

Во втором случае (см. рис. 5) не учитывать надвиг нельзя. Если мы будем проводить разрезы, не пересекая его поверхность, то получим по материалам разрезов I и II длинную последовательность х, у, z, а, b, с, d, e, f, g — мощный инструмент для корреляции разрезов и любых структурных построений. Если же проведем разрез III, пересечем при этом поверхность надвига и не будем по-прежнему обращать на него никакого внимания, мы лишимся нашего инструмента. Выясняется, что признаки с и d уже нельзя считать стратифицирующими друг относительно друга — в разрезе II d выше с, а в разрезе III обнаружены точки, обладающие признаками с и лежащие выше d. Такой же вывод можно сделать и отно-

сительно b и d , b и c , a и c , a и d , a и b . Признаки a , b , c , d должны быть выброшены из последовательности, которая приобретает такой вид: x , y , z , e , f , g . Инструмент, который позволял выделять в разрезах по десять подразделений, теперь будет выделять только по шесть. Дробность расчленения и корреляции резко уменьшается. Чтобы избежать этого, надо как-то учесть границы взбросово-надвигового типа. Покажем, что и это можно сделать не прибегая ни к каким историко-генетическим предпосылкам.

В алгоритме построения стратифицирующей последовательности ранее была введена оценка ее качества. Для всех ее членов подсчитывалась сумма отношений порядка («выше—ниже»), в которые вступает каждый член. Например, в последовательности, построенной по материалам разрезов I и II, член x вступает в отношение порядка с девятью признаками — y , z , a , b , c , d , e , f , g , член y — тоже с девятью — x , g , z , a , b , c , d , e , f , и т. д. Всего отношений порядка получается $10 \times 9 = 90$. Для последовательности, построенной по материалам разрезов I, II, III, такая сумма будет составлять $6 \times 5 = 30$. Количественный показатель ярко демонстрирует, что при пересечении надвига одним из разрезов качество шкалы упало — с 90 до 30.

Определим границы взбросово-надвигового типа как поверхности, при переходе через которые резко падает качество стратифицирующей последовательности. Вернее, мы не будем определять таким образом те вторичные границы, с которыми связываются представления о движениях, надвигах и взбрасываниях.

Ограничимся утверждением: существуют границы, при переходе через которые качество нашего инструмента для корреляции скачкообразно падает. Естественно, что в наших интересах через них не переходить. Чтобы запретить такой переход, надо сначала выяснить, через что же нельзя переходить, где находится эта граница.

Устраиваем перебор разреза III по частям. Строим последовательность по материалам разрезов I и II и двух нижних подразделений разреза III, содержащих признаки a и b . Качество шкалы не упало; запрещенная поверхность пересекает разрез III не в двух нижних его подразделениях. Добавляем третье, четвертое подразделение; поверхность не обнаруживается. Вводим пятый снизу член, это оказывается пласт, содержащий признак a , качество инструмента сразу падает и продолжает падать по мере введения новых более высокоза-

легающих подразделений. Следовательно, запрещенная поверхность находится между четвертым и пятым снизу подразделениями разреза III. Если разрезов, пересекающих поверхность, много, задаем по их данным ее пространственное положение и конфигурацию. Каждый разрез, проходящий через поверхность, следует делить на две части — лежащую выше и ниже поверхности и описывать по отдельности. Именно так и поступает стратиграф, описывая по отдельности разрезы в висячем и лежащем блоке надвига.

Конечно, мы легко выявили запрещенную поверхность потому, что исходили из идеального, крайнего случая, когда каждое подразделение конкретного разреза содержало по одному стратифицирующему признаку. В другом разобранном нами крайнем случае выявить такую поверхность было невозможно. Но оба случая, рассмотренные совместно, позволяют обнаружить полезнейшую закономерность: чем более резко падает качество инструмента, тем легче выявить и исключить причины этого ухудшения, — запрещенную поверхность. Мы совершенно не можем ее выявить стратиграфическими методами, когда она никак не мешает.

Можно ли выявить такие запрещенные (для пересечения их вертикальными разрезами) поверхности нестратиграфическими методами? В принципе, да. Можно установить характер трещиноватости, дробления, мелкой складчатости, всегда сопровождающие эту поверхность и отличающие ее от всех других, и использовать этот набор диагностирующих признаков для распознавания. Но скорее всего, в такой набор попадут и признаки сбросов, сдвигов, любых безамплитудных разломов, совсем не мешающих при построении стратифицирующей последовательности. В этом случае мы нагородили бы слишком много ненужных запретов и нерационально нарежали бы многие разрезы на части. Лучше подобные морфотектонические признаки использовать лишь для выявления сомнительных участков, на которые следует обратить пристальное внимание и подвергнуть их перебору, аналогичному вышеописанному.

Нормальное и опрокинутое залегание

С точки зрения исторической геологии (если поверхность накопления принята за первично горизонтальную) любое негоризонтальное залегание должно рассматриваться как нарушенное. Достаточно очевидно, что как бы ни было нарушено

залегание, последовательность тел или признаков на линии отвеса остается такой же, как и при горизонтальных залеганиях, поэтому вводить какие-либо оговорки относительно нарушенных залеганий ни к чему. Ситуация меняется, когда углы достигают 90° . В этом случае приходится говорить о неопределенных стратиграфических отношениях между вертикально падающими телами. Последовательность стратифицирующих признаков не строится, инструмент для корреляции не работает.

Когда залегания становятся опрокинутыми, последовательность тел и признаков меняется на обратную. Проанализируем эту ситуацию.

Прежде всего, необходимо определить структурное явление, которое с генетических позиций называют опрокинутым залеганием. Попытка определить его, используя понятие кровли и подошвы, более молодых и более древних слоев приводит к логическому кругу (Стратиграфия и математика, 1974). Достаточно очевидно, что если одно и то же непрерывное тело встречено в конкретном разрезе дважды, то одно из залеганий (для нас сейчас неважно даже, какое именно) придется считать нормальным, второе — опрокинутым.

Рассмотрим два крайних случая. В одном из них (см. рис. 6) дважды в конкретном разрезе встречен комплекс тел, в которых нет стратифицирующих признаков.

Где бы мы ни проводили линии разреза, стратифицирующей последовательности, пригодной для корреляции, мы не получим. Опрокинутые залегания можно не учитывать, так как они все равно не сделают ситуацию хуже. Хуже и так некуда.

Во втором случае имеем по материалам разрезов I и II четкую стратифицирующую последовательность (см. рис. 7), качество которой сразу ухудшается, как только некоторая совокупность тел появляется в разрезе дважды. По материалам разрезов I и II строится последовательность а, б, с, d, е, f, g с суммой отношений порядка 42. Если учитывать материалы по разрезу III, признаки а, б, с, d, е переходят в разряд нестратифицирующих, последовательность остается в объеме f, g с суммой отношений порядка 2. Установление стратиграфических отношений без учета опрокинутых залеганий приводит в этих случаях к резкому ухудшению инструмента для корреляции.

Приступаем к перебору разреза III по частям. Строим последовательности по материалам разрезов I и II и двух ниж-

них подразделений разреза III. Качество последовательности остается постоянным. Вводим в игру третье, четвертое, пятое подразделения. Это не приводит к ухудшению последовательности. При введении шестого подразделения качество падает и продолжает падать по мере введения седьмого, восьмого и т. д. подразделений. Пробуем принять гипотезу о наличии надвига между пятым и шестым членами. Но при введении в процедуру построения последовательности отдельно части разреза III выше пятого подразделения качество последовательности не восстанавливается. Следовательно, гипотеза о наличии надвига ошибочна. Пробуем изменить отношения между подразделениями на обратные: если s в разрезе фиксировано выше d , будем считать s ниже d и т. д. Введем преобразованные таким образом отношения по двум нижним подразделениям рассматриваемой части разреза III в последовательность, построенную по материалам I, II разреза и низов разреза III (в объеме подразделений, содержащих признаки a, b, c, d, e). Качество сохраняется. Рассматриваем три, четыре подразделения. Картина не меняется. При введении пятого, шестого и т. д. членов, качество начинает падать. По границе четвертого и пятого подразделений делим разрез III еще на две части, верхнюю из них пробуем отдельно ввести в процедуру построения последовательности в прямом порядке. Качество сохраняется.

Таким образом, для сохранения качества последовательности, построенной по материалам разрезов I и II, нам пришлось делить разрез III на три части и одну из них описывать в обратном порядке. Залегание в этой части будем называть опрокинутым, в остальных двух — нормальным.

Так же, как и для случая с надвигами, для опрокинутых залеганий сохраняется полезная закономерность: когда нет никакой возможности распознать и исключить опрокинутые залегания, они никак не мешают нам в построении стратифицирующей последовательности. Чем больше они отражаются на качестве последовательности, тем большие возможности для своего выявления они нам предоставляют.

Чтобы не организовывать тотальную перепроверку каждого разреза на нормальность — опрокинутость залегания (это привело бы к большим вычислительным затратам), полезно найти их диагностические признаки. Такими признаками будут — широкое распространение крутых, видимых в обнажении, падений, наблюдаемые перегибания границ через вертикаль, другие показатели так называемой «напряженной

тектоники». Когда таких признаков нет, например, в большей части плитных, орогенных комплексов, проверка на нормальность — опрокинутость при помощи трудоемкого перебора разрезов по частям отпадает.

Фауна *in situ* и переотложенная

Используя введенный в двух предыдущих разделах подход, нетрудно решить и эту дилемму.

Допустим, некоторая форма имеет широкий стратиграфический диапазон (в уже построенной стратифицирующей последовательности). Предположим, в исследуемом районе она присутствует как в самом низу, так и в самом верху разреза. Тогда переотложение нижележащих экземпляров, скажем, в средние части разреза ничего не изменит. Как *in situ* эта форма была бесполезна для корреляции, так и в переотложенном состоянии она остается бесполезной.

Явление переотложения имеет смысл учитывать только для форм, имеющих четкое положение в построенной стратифицирующей последовательности. Все находки формы можно разделить на два класса — закономерные, «на своем стратиграфическом уровне», и аномальные. Такое разделение целесообразно производить в тех случаях, когда количество местонахождений «на своем» и «не на своем месте» резко несопоставимы. Аномальные мы исключаем из рассмотрения. При этом не имеет значения — находятся ли аномальные экземпляры выше или ниже «своего» уровня, т. е. назовут ли их с генетических позиций переотложенными или вымытыми. Чтобы не подвергать сомнению и проверке каждую форму с позиции инсита — переотложенности, целесообразно найти диагностические признаки «переотложенных» форм. Такими признаками будут окатанность, обломанность, потертость органических остатков.

Интересно, что во всех рассмотренных случаях (с первичными и вторичными границами, с нормальными или опрокинутыми залеганиями, с фауной *in situ* или переотложенной) аномалии распознаются и исключаются, когда к ним подходит с уже построенной, и к тому же высококачественной, стратифицирующей последовательностью. Если начинать построение последовательности с аномальных участков, многие полезные для корреляции стратифицирующие признаки будут безвозвратно потеряны. Очевидно поэтому, какую важность приобретают разрезы, с обработки которых целесооб-

разно начинать построение, — опорные разрезы. Они должны удовлетворять таким требованиям — быть максимально длинными (по сравнению с остальными известными в районе описанными разрезами), содержать максимальное число признаков (т. е. быть наиболее детально и полно изученными), и не обладать диагностическими признаками, позволяющими предполагать наличие надвигов, опрокинутых залеганий, переотложенных форм.

ЛИТЕРАТУРА

Бодылевский В. И. О стратиграфической зоне. — «Тр. ВСЕГЕИ», 1964, т. 102.

Борукаев Ч. Б., Парфенов Л. М. Заметки о тектоническом районировании. В кн.: Тектоника Сибири, т. 5. Н., «Наука», 1972.

Ворониц Ю. А., Еганов Э. А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Н., «Наука», 1974.

Косыгин Ю. А., Соловьев В. А. Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях. — «Изв. АН СССР, Сер. геол.», 1969, № 6.

Леонов Г. П. Основы стратиграфии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1974, т. 2.

Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М., депонир. ВИНТИ, 1974, № 1749—74.

Салин Ю. С. Теоретическое обоснование методов изучения слоистой структуры. — В кн.: Тектоника и геофизика. Хабаровск, 1974а.

Салин Ю. С. Стратиграфическая корреляция на ЭВМ. — В кн.: Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974б.

Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974.

Harrington H. J. Space, things, time and events an essay on stratigraphy, Bull. Assoc. Petrol. Geol., vol. 49, N 10, 1965.



СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Методология применения математических методов в геологии	
Гордеев Р. А., Забродин В. Ю., Кулындышев В. А., Соловьев В. А. Естественная иерархия природных систем	6
Шарапов И. П. Математизация геологии (состояние, критика, проблемы)	9
Нюберг И. Н. Схематизация явлений — необходимое условие математизации геологии	18
Назаров И. В. Философские (методологические) основы применения математики в науках о Земле	31
Усманов Ф. А. Опыт формальной систематики геологических терминов и высказываний	40
Немец В., Квет Р. Проблемы применения математических методов для геологических исследований с учетом иерархий в планетарных равноудаленных разрывных системах	49
Нюберг И. Н., Салин Ю. С. Основная стратиграфическая модель и вопросы существования и единственности решения задачи корреляции	56
Методология системно-структурных исследований в геологии	
Шарапов И. П. Системный подход к методологическим проблемам в геологии	69
Кулындышев В. А., Малышев Ю. Ф. Комплексная интерпретация геолого-геофизической информации с позиции теории систем	76
Черкасов Р. Ф. Тело, структура и форма в геологии (проблемы и противоречия)	88
Четвериков Л. И. Опыт системно-структурного анализа строения тел полезных ископаемых	100
Забродин В. Ю., Кулындышев В. А., Соловьев В. А. Объект—легенда—карта и проблема модели в тектонике	110
Забродин В. Ю. Дизъюнктив как система	117
Давиденко В. В. Уровневый подход при геологических исследованиях	122

Хлобустов А. А. Системный подход к геологическим исследованиям	129
Миков Е. Г. Методология реферирования геологических текстов на иностранном языке	133
Мионов Ю. П. Геологические инварианты	141
Гордеев Р. А. Проблема иерархии рудных объектов и вопросы прогнозирования	150

Методология познания прошлого

Онопrienko В. И. Логика процедуры ретросказания в геологии	154
Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А., Горелова Н. Г. Соотношение физического и геологического времени	167
Громин В. И. Реконструкция в структурной геологии	177
Салин Ю. С., Синюков В. И. Можно ли построить стратиграфию без историко-генетических посылок?	185

* * *

Рефераты статей	201
---------------------------	-----

РЕФЕРАТЫ

УДК 551.24

Естественная иерархия природных систем. Р. А. Гордеев, В. Ю. Забродин, В. А. Кулындышев, В. А. Соловьев. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 6—9.

Установлен закон сохранения структуры: структура объектов любого уровня естественной иерархической системы определяется не объектами предшествующего уровня, а элементарными ячейками. Геология изучает тела (системы с плотнейшей упаковкой элементарных ячеек), тектоника — их формы и структуры. Библ. 18.

УДК 55.001:51

Математизация геологии (состояние, критика, проблемы). И. П. Шарпов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 9—18.

Математизация геологии рассматривается как одна из методологических операций создания геологического знания, критикуется имеющееся в литературе понимание этой операции и намечаются перспективы совершенствования геологии с помощью математизации, успех которой будет зависеть от того, как геологи сумеют овладеть логикой научного исследования. Библ. 13.

УДК 55.001:51

Схематизация явлений — необходимое условие математизации геологии. И. Н. Ньюберг. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 18—31.

Между наблюдением и построенном математической модели явления стоит этап описания, фиксирующего только необходимые для решения данной задачи черты. Выпадение этапа схематизированного целевого описания ведет к нарушению соответствия между математической и практической геологической задачей. Анализ наиболее распространенного статистического подхода к изучению геологических явлений подтверждает этот вывод. Библ. 3.

УДК 55.001:51

Философские (методологические) основы применения математики в науках о Земле. И. В. Назаров. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 31—40.

Для широкого использования математических методов в науках о Земле необходимо осознание недостаточности традиционных методов исследования, потребности дополнения их новыми, в том числе математическими методами, роль которых особенно возрастает в процессе теоретизации науки. Вскрываются трудности этого использования и дается критика взглядов исследователей, выражающих сомнение в возможности и целесообразности формальных построений в геологии. Библ. 10.

УДК 55:519,51

Опыт формальной систематики геологических терминов и высказываний. Ф. А. Усманов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 40—49.

Излагается один из возможных вариантов формальной систематики терминов и высказываний в геологии, построенной на основе небольшого числа исходных понятий и утверждений (аксиом). Среди терминов, используемых в геологии по признаку, — определяется ли данный термин в системе геологических терминов или вводится как неопределяемый, выделены простые и сложные, а по их значению и по значениям определяющих их терминов выделены типы пространственных, временных и признаковых терминов, а также типы терминов, определяемых через пространственные, временные, признаковые, через пространственные и временные, пространственные и признаковые, через временные и признаковые и через пространственные, временные и признаковые термины. На основе формальной систематики терминов осуществлена попытка типизации простых геологических высказываний. Исследуются наиболее распространенные формы определений терминов и простых геологических высказываний. Библ. 13.

УДК 55.001:51

Проблемы применения математических методов для геологических исследований с учетом иерархий в планетарных равноудаленных разрывных системах. В. Немец, Р. Квет. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 49—56.

Приводится формула, описывающая распределение разрывных зон любого ранга. Так как разрывные зоны контролируют размещение многих геологических явлений, математические методы, применяемые в геологии, должны учитывать существование периодичности разрывов. Библ. 13.

Основная стратиграфическая модель и проблема существования и единственности решения задачи корреляции. И. Н. Нюберг, Ю. С. Салин. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 56—69.

Сформулированы четыре условия, задающие модель, в рамках которой решение задачи стратиграфической корреляции всегда существует и всегда единственно. Модель обнаруживает практически полное сходство со схемой строения Земли, предложенной Вернером. Традиционные геологические представления о слоях, которые отлагались, по последствию были размыты или срезаны разломом, можно рассматривать как введение мнимых объектов, позволяющих свести сложную геологическую ситуацию к простейшей модели Вернера. Библ. 13.

Системный подход к методологическим проблемам геологии. И. П. Шарпов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 69—76.

Критикуется имеющееся в литературе несистемное понимание методологических проблем геологии, а также упрощенное понимание системы (как множества взаимосвязанных элементов). Предлагается новое определение системы (через эмерджентные свойства). Геология рассматривается как сложный предмет, состоящий из 5 компонентов, связанных в науку по особому закону композиции. Эмерджентным свойством этой системы считается ее способность давать истину. Методологические проблемы геологии разбиты на 5 классов (по компонентам науки). Библ. 5.

Комплексная интерпретация геолого-геофизической информации с позиции теории систем (автореферат). В. А. Кулындышев, Ю. Ф. Малышев. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 76—88.

Предлагается вариант системного подхода к построению теории комплексной интерпретации геолого-геофизической информации. Комплексная интерпретация рассматривается как система, основными подсистемами которой являются физико-геологические предпосылки, комплекс примененных геофизических методов, результаты комплексных исследований, реализованные в геологические модели. Главным критерием системы принято осуществление структурного изоморфизма выделенных подсистем. Библ. 49.

УДК 551.24.

Тело, структура, форма в геологии (некоторые противоречия и проблемы). Р. Ф. Черкасов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 88—100.

Рассматриваются и уточняются базисные понятия «тело», «структура» и «форма», термины которых нередко используются в геологии в качестве синонимов. В связи с проблемой стабильности геологического языка предлагается различать первичные (обычно негенетические) и вторичные термины. Приведенные расширенные по сравнению с известными общие классификации тел, структур, форм. Поставлена проблема выделения и терминологии вторичных тел. Библ. 22.

УДК 55.001:553.001.

Опыт системно-структурного анализа строения тел полезных ископаемых. Л. И. Четвериков. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 100—110.

Характеристика n/l , представляющая собой отношения количества n геологических элементов, пересекаемых некоторой линией к длине l этой линии, пересекаемых некогда любой геологической структуры индикатрису. По типам индикатрис классифицируются геологические структуры, анализируется их распространение в природе. Библ. 14.

УДК 551.24.01.

Объект—легенда—карта и проблема модели в тектонике. В. Ю. Забродин, В. А. Кулындышев, В. А. Соловьев. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 110—117.

Показывается, что фактический путь геокартирования — объект—легенда—карта, а не объект—карта—легенда, как это обычно считается.

УДК 551.243.

Дизъюнктив как система. В. Ю. Забродин. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 117—122.

Для дизъюнктивов (от кливажа до глубинных разломов) введены понятия «дизъюнктив в целом», «дизъюнктив как целое», «весь дизъюнктив». Предложено новое определение дизъюнктивов, как геологических границ. Крупные дизъюнктивы можно изучать на моделях, в качестве которых выбираются небольшие дизъюнктивы. Библ. 8.

УДК 55.001:553

Уровенный подход при геологических исследованиях. В. В. Давиденко. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 122—129.

Масштабы геологических работ должны соответствовать уровням организаций вещества: геологические формации изучаются при работах регионального масштаба, горные породы — при работах масштаба 1:50000. Соответственно меняется смысл понятия «месторождение» на разных уровнях организации. Библ. 3.

УДК 55.001

Системный подход к геологическим исследованиям. А. А. Хлобустов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 129—133.

Выделены дискретные миры — от солнечной системы до элементарных частиц. Привлекается внимание к взаимодействиям между мирами, в особенности энергетическому обмену. Библ. 7.

УДК 80.935.62

Методология реферирования геологических текстов на иностранном языке. Е. Г. Миков. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 133—141.

В статье рассматривается проблема выделения типовых смысловых компонентов научно-реферативного текста под углом зрения совершенствования методов реферирования иноязычной научной литературы на иностранном же языке. Библ. 7.

УДК 551.24.

Геологические инварианты. Ю. П. Мионов. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 141—150.

Имеются геологические данные тектонической инвариантности некоторых типов структур (в первую очередь — трансформные структуры и своды). Эти типы структур названы геологическими инвариантами. Рассмотрение генерализованных границ геологической карты показывает, что в множестве геологических инвариантов должны быть лемнискатные, дублетные лемнискатные и Т-кардиоидальные структуры. Библ. 11.

УДК 553.3

Проблема иерархии рудных объектов и вопросы прогнозирования. Р. А. Гордеев. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 150—154.

В иерархическому ряду выделены минеральный, породный и формационный объекты. В рудной геологии на формационном уровне выступает рудно-магматическая система, которая по аналогии с минералами и породами может быть охарактеризована текстурой и структурой. Структура, как более устойчивая характеристика, может быть использована для прогнозирования. Библ. 2.

УДК 551.7.001

Логика процедуры ретросказания в геологии. В. И. Оноприенко. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 154—167.

Для геологии характерно: преобладание модельных и гипотетических ретросказаний; преимущественное использование гипотез в качестве времясодержащих законов — для осуществления межвременного перехода; статистический характер геологических законов, обуславливающий невозможность ретросказаний некоторых процессов; неопределенность представлений о геологических законах вообще и в особенности о времясодержащих законах; метод актуализма, с помощью которого производятся исторические реконструкции, является методом ретросказательной аналогии; ретросказательная модель является по существу пространственно-временной, в связи с чем большое значение приобретает принцип пространственно-временной локализации модели.

Указаны пути совершенствования исторических построений. Библ. 20.

УДК 551.7.001

Соотношение физического и геологического времени Ю. А. Косыгин, Н. Г. Горелова, Ю. С. Салин, В. А. Соловьев. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 167—177.

Физическое и геологическое время — разные понятия: первое выводится из наблюдений над текущими процессами, второе — из наблюдений над свойствами и отношениями геологических тел. Обоснована возможность восстановления физической одновременности по геологической. Библ. 6.

УДК 551.243.

Реконструкции в структурной геологии. В. И. Громин. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 177—185.

Выделены основные типы задач реконструкции в структурной геологии и проведен анализ методов их решения. Показаны причины многозначности получаемых решений. Намечено направление совершенствования обсуждаемых методов. Библ. 1.

УДК 551.7.001

Можно ли построить стратиграфию без историко-генетических посылок? Ю. С. Салин, В. И. Силюков. «Методология геологических исследований». Владивосток, 1976, стр. 185—197.

Такие общепризнанные исторические понятия, как вторичные границы, опрокинутые залежания, переотложенная фауна, могут быть определены в рамках чисто статических систем. Приведены алгоритмы логического вывода этих понятий из наблюдений. Принадлежность других фундаментальных стратиграфических понятий к статическим системам более очевидна. Библ. 10.

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(Тематический сборник)

Редактор Г. М. Кушнарева
Технический редактор А. И. Сизиков

Сдано в набор 29 сентября 1976 года
Подписано в печать 18 ноября 1976 года.
Бумага писчая. Формат 60×84¹/₁₆. Физ. печ. л. 13 уч. -изд. 10,6.
ВД 10010. Заказ № 1028. Тираж 600 экз. Цена 90 коп.

Филиал Читинской областной типографии Управления издательств,
полиграфии и книжной торговли Читинского облисполкома.
672078, Чита, центр, Анохина, 57.

ОПЕЧАТКИ И НЕТОЧНОСТИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
10	6	снизу легке	легко
14	20	» вольфрамово-медново-	Вольфрамово-медно-
33	4	» подкорковых зон	подкорковых зон
34	23	» На эмпе-	эмпирическом
40	3	» микрофизические	макрофизические
45	11	сверху Термином называется	Термином У называется
48	4	снизу Методические проблемы	Методологические
56	7	сверху геотектоники	геостатистики
68	4	снизу статиграфии	стратиграфии
71	9	сверху не элементах,	не элементы,
73	9—10	свер-предшествуют	предшествует
	21	снизу э-присущность	ε — присущность
103	16	» выражающее	выражающеся
109	25	» ислданского	исландского
110	17	сверху ряды,	комплексы,
158	20	» своим объектов	своим объектом
187	2	» С. В. Мейера	С. В. Мейена
	4	» воображаемые оппоненты ... орто-	Дело совсем не в дискуссии с С. В. Мейеном, просто в его (работе)
191	22	снизу в случае взбросового	в случае разломов взбросового (типа)
204	10	сверху Приведенные	Приведены
	20	» пересекаемых неко-	позволяет построить

2176

Цена 90 коп.