

**ПРИМЕНЕНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
■ И ЭВМ ■
ПРИ РЕШЕНИИ ТИПОВЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
(Материалы Всесоюзной конференции)**



550.8:519

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
И ЭВМ ПРИ РЕШЕНИИ ТИПОВЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

(Материалы Всесоюзной конференции)

Сборник научных трудов

Под редакцией Ю.А. Воронина



Новосибирск 1976



1405

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АН СССР
Вычислительный центр

2588.213

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
И ЭВМ ПРИ РЕШЕНИИ ТИПОВЫХ
ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

(Материалы Всесоюзной конференции)

Составил редакционный отдел
Под редакцией Ю.А. Борозина

П р е д и с л о в и е

В применении математических методов и ЭВМ в геологии до сих пор имеется очень много важных проблем, вызывающих горячие дискуссии. Их отличительной особенностью является то, что для их уточнения и разрешения необходимы многолетние усилия больших коллективов. Сложившаяся же организация и практика исследований по применению математических методов и ЭВМ в геологии такова, что исследователи сейчас предпочитают рассматривать только такие частные вопросы, которые оказываются по плечу маленьким коллективам и могут быть выполнены в короткие сроки. Упомянутые же выше проблемы, от разрешения которых и зависит в первую очередь эффективность применения математических методов и ЭВМ в геологии, остаются долгое время, по меньшей мере 10 лет, слабо разработанными.

По-видимому, одним из возможных путей изменения сложившегося положения является создание таких коллективных установочных работ, которые могли бы обеспечить многолетние совместные исследования небольших, формально разобщенных, коллективов исследователей по наиболее важным и дискуссионным проблемам применения математических методов и ЭВМ в геологии, обеспечить этим исследованиям право на место в планах крупных научных организаций. Настоящий сборник и был задуман как один из серии работ такого характера. В его основу положены те материалы Всесоюзной конференции по применению математических методов и ЭВМ при решении типовых задач геологии (Новосибирск, май 1975 года), которые в должной степени отвечали целям сборника.

Первоначально предполагалось предоставить место в сборнике представителям всех трех направлений в применении математических методов и ЭВМ в геологии: "традиционалистам", "уме-

ренным" и "реформаторам". Однако, по ряду причин, этого не удалось сделать. Сборник оказался "реформаторским": в нем представлены, в основном, статьи тех, кто связывает успехи в применении математических методов и ЭВМ в геологии с коренным пересмотром многих методологических и теоретических концепций геологической науки, пересмотром многих основополагающих моментов в геологоразведочном производстве.

Работа по подготовке материалов сборника показала, что "реформаторы", так же как и другие, не представляют сейчас идейного целого, они раздроблены на отдельные группы и группы ("целевики" и "искатели истины", "математико-геологи" и "геолого-математики" и др.). Такая разобщенность не позволила изложить материалы сборника на единой идейной основе и в строгой системе.

В сборнике основное внимание уделяется поискам и разведке полезных ископаемых, тому, ради чего, по мнению некоторых, существует "практическая" геология. Значительное внимание уделено и "теоретической" геологии. Такая ориентация сборника, несколько сдвинутая в сторону поисков и разведки, обусловлена прежде всего тем, что сейчас не имеется возможности эффективно обсуждать применение математических методов и ЭВМ "в геологии", имеется возможность подобным образом обсуждать лишь "применение математических методов и ЭВМ в конкретных простейших задачах ситуациях геологии". Слабости "старой" науки, если они действительно серьезны, всегда наиболее отчетливы на ее стыке со "старым" производством. Именно этот стык наиболее подходит для проверки и внедрения "нового".

При оформлении материалов сборника была предпринята попытка придать им такую форму, которая в максимальной степени способствовала бы острой, но доброжелательной, дискуссии и конкретным деловым контактам между учеными, производственниками и руководителями геологоразведочной отрасли, прежде всего, по насущным проблемам использования достижений науки в отрасли на основе АСУ в целях повышения эффективности поисков и разведки важнейших полезных ископаемых.

Некоторые предложения по перестройке геологической науки и геологоразведочного производства, которые содержатся в сборнике, как представляется, могут служить основой для даль-

нейшей работы. Можно надеяться, что сборник вызовет интерес у всех, кто имеет отношение к применению математики и вычислительной техники в геологии.

Настоящий сборник является четвертым сборником, связанным с применением математических методов и ЭВМ в геологии, выпускаемыми ВЦ СО АН СССР. Инициаторы и авторы этих сборников были бы признательны всем за любые замечания и предложения.

Этот сборник авторы посвящают светлой памяти замечательного советского геолога профессора Владимира Михайловича Крейтера. Владимир Михайлович Крейтер был, несомненно, самым ярким из всех, кто с самого начала правильно понял место и значение математики в "практической" геологии.

Доктор физ.-мат.наук,
профессор

Ю.А.Воронин

А.М.Боровиков, Ю.А.Воронин, Э.А.Еганов, И.А.Еганова,
В.А.Нагорский, И.В.Назаров, В.И.Оноприенко,
Г.Пешель, Ф.А.Усманов, И.П.Шарапов.

О ПРОГРАММЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ОСНОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

I. Введение. О современном состоянии геологической теории.

К настоящему времени геология представляет собой конгломерат отдельных научных дисциплин, сформировавшихся эмпирически и обособившихся в процессе своего развития. Сложилась такая ситуация, что затруднительно рассматривать геологию как единое целое. При этом, хотя внутри отдельных геологических дисциплин достигнуты некоторые успехи в построении теоретических знаний, геология не перешла еще с эмпирического уровня познания на теоретический уровень [1,2,3,4] .

Геологические исследования за последние годы, несомненно, развиваются весьма стремительно, но это развитие носит, в основном, характер интенсивного нарастания фактического материала. Хотя оно усилило необходимость глубокой теоретизации знаний, однако это не привело к соответствующему подъему геологической теории. По сравнению с другими естественными

науками в геологии можно наблюдать некоторую стагнацию, отставание теоретического развития, что отрицательно сказывается на ее собственном развитии, на взаимодействии с другими науками и на практическом использовании геологических выводов [4,5].

Геология, как наука, очень молода, сравнительно с физикой, химией, математикой или биологией. В ее историческом развитии, как и в любой другой естественной науке, можно выделить три направления: собирательное, аналитическое и синтетическое [6]. Первое направление все еще господствует в геологии и придает ей облик науки, по преимуществу, эмпирической. Это проявляется в сборе огромного количества проб, в стремлении исследовать все минералы, все породы, все территории, т.е. в геологической "экспансии", при которой знание развивается ширь без доведения его до уровня теоретического обобщения. Разумеется, в геологии действует и второе направление, которое стремится расчленить предмет исследования на части и части частей, познать его в деталях, найти особенное, неповторимое, специфическое и определить, каков его генезис. Знание при этом идет вглубь. Таким образом, геологические исследования первого и второго направлений имеют описательный, исторический или идиографический характер.

Третье направление, опираясь на первые два, стремится познать общее у разных предметов исследования, найти связь между ними, объяснить факты, открыть законы природы, познать механизм взаимодействий, синтезировать знание. Это направление, знаменующее переход на теоретический уровень познания, в геологии зарождается только сейчас.

Существует широкий спектр оценок состояния геологии, их можно условно разделить на две основные группы [4]: одни исследователи считают, что геология находится на подъеме, в ней происходит научная революция, другие утверждают, что геология еще находится в предреволюционном кризисе. Однако, несмотря на такое различие оценок, общим для всех является осознание того, что в геологии сейчас необходимо привлекать и разрабатывать новые, современные методы и средства научного познания. При этом одни исследователи концентрируют внимание на техническом перевооружении геологических наблюдений и

экспериментов, привлечения современных физических и химических средств и методов, широком использовании математических методов и ЭВМ для обработки данных, разработке физико-химических и физических моделей и теорий геологических явлений, усовершенствовании синтетических геологических гипотез (типа "теории новой глобальной тектоники"). Другие исследователи основное внимание обращают на необходимость совершенствования теоретических средств, в том числе для обработки результатов наблюдений — на создание фундамента теоретической геологии, считая без этого невозможным рациональное планирование и развитие как технических и методических средств геологии, так и теоретических исследований в общих и частных ее разделах.

Таким образом, сейчас уже никто, вроде бы, не отрицает, что геология находится на переходном этапе своего развития, на пути к новому "теоретическому" состоянию. Различия существуют только в оценках этого переходного этапа, а также во взглядах на будущую теоретическую геологию: каковы главные факторы и условия формирования теоретической геологии, какими должны быть ее идеалы, структура, связи и содержание.

Никто не оспаривает, что ускорению развития теоретической геологии должно служить использование современных математических, физических, химических и т.п. экспериментальных и теоретических методов, применение современной техники и общая обстановка научно-технической революции, требующая перехода от стихийного экстенсивного развития наук к интенсивному, конструктивному на всех уровнях, притом комплексному и управляемому [7].

Основное различие представлений геологов о будущей теоретической геологии заключается в том, какие именно виды теорий подразумеваются, явно или неявно, в качестве идеалов. В современной геологии, как было выяснено в результате методологического анализа [3,4,8-14], выделяются два типа теоретических построений, которые можно назвать идиографическими и номотетическими теориями.

Идиографические теории характерны для эмпирического уровня познания, они относятся к описательному и аналитическому направлениям в геологии и составляют сейчас более 80 % всех ее теоретических знаний. В течение последних ста лет геологи-

ческая наука пополнялась почти исключительно теориями идиографического типа. Остальные теоретические знания геологии представляют собой либо номотетические теории, либо смешанные построения. Так что для современной геологической теории характерны в основном черты, присущие идиографическим теориям и состоящие в следующем.

Идиографические теории — неформальны, конкретны по содержанию, создаются в целом индуктивно, основываются на интуитивных методологических подходах, на неявных посылках, на эмпирических закономерностях. Доказательства истинности в них основываются на так называемой убедительности, так как строгая доказательность здесь невозможна. Это, главным образом, ретроспективные, объясняющие генетические, историко-генетические и эволюционные теории. В большинстве своем они представляют собой стихийно выросшие конструкции, "недостроенные доверху", олицетворяющие частные и фрагментарные теоретические (гипотетические) схемы, являющиеся, строго говоря, "предмодельными построениями", "эвристическими высказываниями". По-видимому, незавершенность таких построений объективно обусловливается достижением некоторого непреодолимого уровня неоднозначности, запутанности и неявной противоречивости. Соотношения между отдельными идиографическими теориями, между ними и эмпирической базой очень неопределенны, крайне запутанны и притом противоречивы. И все это на фоне таких характерных черт геологической теории (подробно освещенных в работе Г. Пешеля [2]), как:

синонимичное использование понятий "теория" и "гипотеза" (см. также [4, 13]),

базирование в индуктивных построениях на отдельные явления, выхваченные из сложной цепи, эклектика,

отсутствие общих теоретических основ, расплывчатое формулирование понятий и законов, неоднозначность высказываний,

отсутствие четкого научного языка и, как следствие вышесказанного, слабое влияние на геологическую практику.

Одна из причин возникновения чисто идиографических теорий — решение плохо поставленных (или вовсе неразрешимых современными средствами) задач.

Идиографические теории естественно рассматривать как первый, более низкий уровень теоретической мысли, номотетические — как последующий, более высокий уровень.

Номотетические теории в своей основе формальны, абстрактны по содержанию, формируются в целом дедуктивно, основываются на определенных явных методологических принципах, на фиксированных и хорошо определенных исходных понятиях и условиях, на законах не только (и не столько) "эмпирических", но и на "теоретических." При обосновании истинности выводов в них стремятся к доказательствам, для которых имеются надлежащие правила и аппараты. Это, главным образом, статические и динамические теории, феноменологические, структурно-объяснительные и предсказательные, но не ретроспективные, не историко-генетические. Хотя среди имеющихся в геологии номотетических теорий также немало недостроенных, однако (благодаря явной методологии и четкости), общие планы этих теорий заложены в самой их структуре и пути разворачивания их всегда могут быть четко определены. Связи между различными номотетическими теориями, между ними и эмпирической базой всегда достаточно ясны и конструктивны. Когда внутри номотетических теорий или между ними обнаруживаются противоречия, они легко локализируются и затем эффективно используются для перестройки и усовершенствования более общей теории. Поиск и вскрытие противоречий в номотетических теориях — один из рабочих методов, а не помеха.

В традиционной геологии, если даже различие номотетических и идиографических теорий и осознается, то при этом подразумевается, что переход к номотетическим теориям должен происходить сам собой, "по мере уточнения наших знаний и накопления достаточного эмпирического материала"; то есть неким эволюционным путем, где-то в неопределенном будущем. При этом полагают, что для такого перехода достаточно совершенствовать существующие теории только в содержательном плане и строить новые теми же способами, что и раньше.

Модернизированный вариант такого пути — это насыщение традиционной геологии физическими и физико-химическими методами, представлениями, моделями (путь к "геономии" В.В.Бело-

усова, который сейчас интенсивно форсируется в ряде стран, как показывает сводка Дж.Ферхутена, Ф.Тернера, Л.Вейса и др., см. [15]). Здесь принципиально важно подчеркнуть, что (при любых вариантах представления о формировании теоретической геологии только путем усовершенствования идиографической геологии) сторонники таких представлений не осознают необходимости специальной разработки для теоретической геологии методологической системы, общего для всей геологии научного языка, теоретических средств и аппаратов, предназначенных для описания собственно геологических объектов исследования, явлений, законов.

К осознанию необходимости всего этого убедительно подводят результаты известного процесса "математизации" геологии и связанные с ним методологические работы [1-4, 6, 8, 9, II, I2] и др.

Так называемая "математизация" геологии - широкое применение математических методов и электронно-вычислительных машин в геологических исследованиях - была вызвана в основном повышением требований к достоверности результатов и экономической эффективности геологоразведочных работ, назревшей неудовлетворенностью традиционными способами сбора и обработки фактического материала и т.п. Однако, несмотря на широкий размах и большую интенсивность работ, результаты по применению математических методов и ЭВМ в геологии оказались гораздо более скромными, чем это ожидалось. Имело место преимущественно лишь "вычислительное" применение математических методов (как, например, статистический анализ данных, корреляционный анализ) к решению геологических задач без корректной постановки их. Хотя "математизация" в собственном смысле слова не должна была ограничиться лишь приложением всевозможных математических методов к геологическим исследованиям, можно убедиться, что пока применение математических методов и ЭВМ не оказало влияния на характер теоретических конструкций в геологии, на стиль геологического мышления, а также и на практику геологоразведочных работ. Более того, нередкое эклектичное и некритическое применение различных математических методов и средств в геологических проблемах приводит не только к естественным неудачам, но, главное, к известной

дискредитации так называемой математической геологии.

То обстоятельство, что предполагаемые многими перспективы применения математических методов и ЭВМ в геологических исследованиях оправдались далеко не полностью, объясняется, в первую очередь, тем, что их возможности используются, коротко говоря, неэффективно из-за недостаточного уровня теоретического развития геологии. Ошибки при этом были обусловлены прежде всего слабой разработанностью методологических вопросов применения математических методов в геологических исследованиях.

Различные аспекты процесса "математизации" были подробно рассмотрены в монографии [11], где были проанализированы ситуации, допускающие математическую обработку геологических данных с применением ЭВМ, а также детально обсуждаются причины, затрудняющие "математизацию", приводятся логические типы геологических задач и условия, обеспечивающие правильность их математической постановки. В этой работе подводятся также итоги десятилетней дискуссии по вопросам "математизации" геологии, логики построения геологических теорий и эффективного решения задач.

Разумеется "математизация" геологии не является самоцелью. Математика и формальная логика суть главные средства на пути целенаправленного формирования теоретической системы в науках о Земле. Правда, существует, особенно среди практиков, мнение, что по сравнению с другими, теоретически более развитыми естественными науками, геология обладает рядом "особенностей", из-за которых для геологической теории якобы в принципе невозможна "математическая" строгость. Другими словами, они считают, что в геологии возможны только теории идиографического типа. Не вдаваясь в критику подобных рассуждений (об этом довольно подробно сказано в работе [2], стр. 18-25) заметим только, что отрицание строгих, номотетических теорий для геологии есть прежде всего недостаточное понимание сущности теории, недостаточное понимание того, что эмпирический уровень познания характерен для нынешнего положения геологии, но не может считаться характерным для геологии вообще.

Предлагаемая статья посвящается одной из важнейших, перво-

очередных и неизбежных проблем геологии — ее теоретическому перевооружению.

Ниже будут даны общие представления о теоретической геологии, о требованиях к ней, ее содержании и предназначении. К этому прилагается программа создания некоторых теоретических средств, без которых невозможно построение теоретической геологии. Разработка структуры теоретической геологии — следующий шаг, он даст принцип разбиения на геологические дисциплины, их взаимосвязь, выделит основные проблемы.

II. О теоретической геологии. Ее предназначение и содержание, способы построения.

Специальный методологический анализ состояния геологии [I-4,6,8,9,10-12,16-19] позволяет считать, что геология достаточно подготовлена, чтобы конкретно обсудить и наметить пути создания теоретической геологии. Действительно, вскрыты и осознаны трудности современного развития геологии, а, с другой стороны, имеется ряд локальных "прорывов" геологических теорий на высший уровень. К таким "прорывам" относятся, например, теория процессов минералообразования Д.С.Коржинского, отдельные теории геофизики, работы по созданию теории комплексной интерпретации геофизических данных, разработки теории классифицирования в геологии, теории геологического районирования и др. Уже выдвигаются конкретные варианты схем и программ создания основ теоретической геологии [14,20,21], над основными элементами которых фактически уже ведутся работы.

Создание теоретической геологии обусловлено прежде всего стремлением обнаружить единство геологического знания. Тенденция к единству знаний, как правило, оказывается весьма необходимой и плодотворной, когда в науке возникают проблемные ситуации [22]. Реализация этой тенденции дает возможность преодолеть кризис, обусловленный противоречиями между различными, противостоящими друг другу теоретическими системами.

Создание теоретической геологии связано с выбором определенной методологической основы ее построения, в качестве которой выступает способ решения проблемы единства знания. Например, для биологии возможны два пути решения этой проблемы [23]. Один путь — путь редукционизма, когда вычленяется какой-либо фрагмент знания или система принципов и на их основе

строится система однородной теоретической науки. Именно так уже не раз в истории науки реализовалась тенденция к единству физического знания. Однако в условиях современной науки высказываются сомнения относительно возможности создания однородной науки, базирующейся на общих, универсальных теориях. Другими словами, подвергается сомнению возможность синтеза знаний на основе редукционизма и методологии сведения.

В связи с этим предлагается другой подход, который условно можно квалифицировать как "системный". Суть его заключается в следующем. Поскольку мы можем постулировать невозможность создания в современных условиях однородной науки, то процесс теоретизации должен состоять в вычленении ряда общих теорий и в установлении логических связей между ними. При этом предполагается своеобразие каждого фрагмента знания в рамках общей теоретической системы (поскольку эти фрагменты строятся на основе специфических методов и принципов), а задача теоретической науки сводится к решению проблемы соотношения методов и интерпретации получаемых результатов.

Альтернатива редукционистского и "системного" подходов к созданию теоретической науки не может быть пока решена в применении к геологии. Трудно сказать, какой из этих подходов окажется наиболее приемлемым. Второй подход, несмотря на его привлекательную "современность", пока не реализован в практике науки, а первый, хотя и имеется опыт его реализации, плохо вписывается в современную ситуацию, сложившуюся в геологии, из-за далеко продвинувшейся дифференциации и специализации.

Назначение теоретической геологии — дать общую теоретическую основу всем частным специализированным отраслям геологии (типа тектоники, физики Земли, геохимии, парагенетического анализа и т.п.). Общее назначение теоретической геологии определяет следующие конкретные требования.

1. Теоретическая геология должна представить общие формальные аппараты, позволяющие строить и описывать абстрактные модели геологических объектов исследования, алгоритмически решать геологические задачи.

2. Теоретическая геология должна создаваться на общем для всей геологии языке, оперировать общими принципами и средствами ("теоретические" законы и пр.), позволяющими изучать геоло-

гические объекты исследования: структуры, эмпирические закономерности, механизмы геологических явлений и др. При этом должна быть обеспечена возможность обобщения специализированных методик разных разделов геологии, возможность переноса методов одной области геологии в другую, а также использования в геологии аппаратов и методов других наук.

3. Теоретическая геология должна иметь теоретические принципы и средства, позволяющие частным геологическим отраслям разработать методику планирования наблюдений и экспериментов, перехода от эмпирических данных к теоретическим моделям, для обратной эмпирической интерпретации теоретических конструкций и выводов, для проверки решений задач.

4. Теоретическая геология должна предложить способы выбора различных стратегий и тактик теоретических исследований в общих и частных разделах геологии, предусматривая при этом постоянную связь с практической геологией как со своим базисом.

Таким образом, на первый план в деле создания современной теоретической геологии выдвигается, как первейшая и важнейшая задача, логический анализ научного языка геологии, выработка общего языка для всей геологии. Необходим критический и историко-научный анализ сложившихся в геологии концепций, теорий, систем понятий, особенностей эмпирических средств. Так что важным элементом в структуре теоретической геологии выступает методологическая надстройка, с помощью которой должны вскрываться внутренние закономерности геологического знания путем анализа содержания понятий, выяснения соотношения методов, анализа и оценки законов и теорий с целью выбора некоторых из них в качестве синтезирующих.

Сейчас в геологии налицо необходимость разработки единых методологических и теоретических принципов, единого языка, единых представлений о целях и задачах, в ином разбиении на специальные дисциплины. Исследования по построению теоретических основ геологии имеет смысл приветствовать, однако только в том случае, если они служат указанным целям. Сейчас, однако, нередко случается так (как, например, в [24]), что пытаются придать современный вид тем методологическим концепциям геологии, которые как раз подвергаются сомнению в связи

с применением физических, химических и математических методов.

Вышеперечисленные требования к теоретической геологии, определяющие ее назначение, позволяют сформулировать следующие общие замечания о ее содержании.

1. Теоретическая геология должна дать обобщение и типизацию геологических задач (по различным критериям, для широкого выбора и применения математических методов при их решении), анализ каждого типа геологических задач. Отметим, что так называемая "математическая геология" — т.е. применение различных математических методов к геологическим задачам — может рассматриваться при этом как часть теоретической геологии (в которой должны работать преимущественно математики) лишь после того, как в геологии будут сформулированы четкие представления о типах задач и даны их математические постановки, хотя, со временем, математическая геология может вырасти в достаточно самостоятельную научную ветвь геологии.

2. Теоретическая геология должна представить общую основу для сравнения, оценки и оптимизации развития различных теорий (частных и общих), моделей, постановок задач и т.п.

В структуре теоретической геологии могут быть выделены статические, динамические и ретроспективные подсистемы [25], разделяющиеся своими целями, задачами, методами и результатами на основе отношения к параметру "время". Статическая геология — это область знаний о вещественных (материальных) и геометрических (пространственных) свойствах геологических объектов и отношений между ними. Ее цель — сделать возможным предсказание состава и расположения геологических тел (скажем, определение пунктов залегания полезных ископаемых или иных геологических объектов) с помощью известных связей. Задачи статической геологии сводятся к нахождению систем свойств, по которым из геологического пространства выделяются и классифицируются оптимальным образом некоторые объекты, а также к определению связей между выделенными объектами и их характеристиками. Основные методы исследования в статической геологии — классифицирование по заданным требованиям, установление степени сходства между выделенными объектами и выявление связей между объектами и свойствами объектов, а также объектами разных типов.

Динамическая геология - область знаний о процессах, преобразующих геологические объекты исследования и вызывающие их перемещение. Эти процессы протекают в земной коре в период, доступный наблюдению. Методы динамической геологии - методы химии и физики, приложенные к природным объектам, являющимся частями земной коры; это методы исследования поведения систем в физически измеряемом времени.

Ретроспективная (в узком смысле историческая) геология - область знаний о порядке возникновения объектов, выделенных в земной коре. Основным исходным понятием исторической геологии является понятие о "геологическом времени". Ее цель - установление взаимозависимости явлений во времени, последовательности событий, приведших к возникновению наблюдаемого состояния и расположения объектов, установления причин геологических явлений. Для достижения такой цели необходимо решить задачи выделения объектов, установления связей и нахождения меры сходства между объектами и системами объектов. Основными методами исторической геологии являются классифицирование, аналогия, ретросказание (метод актуализма, сравнительный анализ и т.д.). Ретроспективные теории принципиально отличаются от других тем, что должны строиться на основе уже развитых статических и динамических теорий.

Особую роль в составе теоретической геологии должны играть законы, лежащие в ее основании. Можно представить такие категории законов, которые войдут в основу теоретической геологии: 1) "эмпирические" законы (типа закона постоянства углов в кристаллографии прошлого века); 2) "эмпирические" и "теоретические" законы, заимствованные из других наук (типа законов термодинамики закрытых систем в теории процессов минералобразования Д.С.Коржинского); 3) "теоретические" законы, взятые или выводимые из логики, теории систем, теории информации, кибернетики, геометрии и других разделов математики.

Проблема фиксации и формирования геологических законов стоит особенно остро, поскольку от нее в значительной степени зависит разработка теоретической геологии. Законы, выделенные в геологии эмпирически, как правило не были четко сформулированы и зафиксированы, тем более, что геология, как многие идиографические науки, нередко использует не собственные за



коны, а заимствованные из других наук.

Выбор способа построения теоретической геологии — это наименее алгоритмизуемая и наиболее эвристическая проблема. В геологии уже сложился ряд представлений и постановок вопросов о направлениях создания теоретической геологии, но многие стратегические и тактические вопросы построения теоретической геологии пока дискуссионны. Так, намечаются два пути построения системы теоретической геологии:

1) экстенсивный, естественно-эволюционным путем развития всех ее компонент согласно традиционным подходам классической геологии;

2) интенсивный, конструктивно-революционным путем развития согласно современным методологическим принципам организации теоретического знания.

Дискуссионен и вопрос, из чего исходить при построении системы теоретической геологии — из знаний и методов традиционной идиографической геологии или из общенаучных и логико-математических абстрактных представлений. В первом случае построение теоретической геологии начинается "снизу", с геологических теорий низшего уровня абстрактности и развивается далее "вверх" индуктивно-эмпирическим образом. Только когда эмпирические закономерности будут достаточно обобщены и проверены на практике, они будут возведены в ранг аксиом новой аксиоматической системы. Во втором случае построение начинается "сверху", с наиболее абстрактного уровня и развивается далее "вниз" дедуктивно-абстрактным образом. В рамках направления "формализации геологии" уже имеются теоретические конструкции как "индуктивно-эмпирические", так и "дедуктивно-абстрактные". Обоснование того или иного пути или их комплексирования требует дополнительного методологического анализа.

Уникальный методологический опыт, еще очень мало освоенный геологами и, видимо, философами, дает нам география последних десятилетий. В теоретической области географические науки опередили геологию на десятилетие. В СССР, ГДР, Англии, США и др. странах географы ведут широкие теоретические и метатеоретические исследования, уже опубликован ряд фундаментальных работ по основам теоретической географии (см., например, [26-34]). Если учесть, что соответствующие исследования

в географии и геологии до последних лет развивались практически независимо, то следует удивляться поразительной аналогии между всеми тенденциями и стадиями развития методологической и теоретической мысли в обеих науках. Чтобы убедиться в этом, достаточно ознакомиться с заключительной главой книги Э.Неефа [28], где рассмотрены вопросы построения общей теоретической географии, и сравнить их с проблематикой геологии.

По существу основные дискуссионные вопросы построения теоретической геологии имеют прямое или косвенное отношение к методологии. Через методологию геологии должна осуществляться связь теоретической геологии с системой наук философской группы. Здесь стоит подчеркнуть, что методология конкретной науки является сама по себе сложной многоэтажной системой со специализированными подразделениями разного уровня общности и разного назначения [35]. "Нижние" уровни смыкаются с методами и принципами науки, "верхние" — с философией и методологией познания. Поэтому попытки прямого переноса высказываний из марксистско-ленинской теории познания непосредственно в конкретную теоретическую проблематику геологии приводили и приводят лишь к профанации философии, к тривиальным истинам, к демагогии в конкретных методологических вопросах. Сложная система методологических вопросов, требующих своего решения при создании теоретической геологии, немислима без большой совместной работы геологов-теоретиков и философов.

В следующем разделе кратко излагается в порядке обсуждения некоторая программа по построению основных средств теоретической геологии [20]. Часть ее уже реализована в ряде работ, например, [36-51].

III. Проблемы и основные вопросы при построении теоретической геологии.

I. Основные понятия геологии.

В геологии, как и в любой другой науке, существует набор понятий, определяющих ее инструментально-теоретическую основу. Среди этих понятий геологии можно выделить основные и вспомогательные. К основным понятиям геологии, составляющим

ее фундамент, можно отнести, например, такие как: слой, минерал, горная порода, формация, фация, граница, район, провинция, разлом, платформа, складчатая область, переходная зона, океан, континент, земная кора, верхняя мантия, вещественный состав, структура, возраст, условия и обстановка образования, генезис, парагенезис, согласное залегание и др. Этот фундамент закладывался в начальный период развития геологии, в основном, путем частных теоретических обобщений на основе случайного эмпирического материала. В отличие от других наук в геологии сейчас набор ее понятий не составляет логической системы. В силу этого он не удовлетворяет современным научным требованиям, существенно тормозит дальнейший прогресс геологии.

Понятия как основа теоретического знания. Содержание и объем понятий; структура и значение понятий. Определение понятий. Виды определений: видовые, генетические, операционные, индуктивные, описательные, рекурсивные, номинальные, контекстуальные и др. Общие требования к определениям. Геологические иллюстрации и пояснения. Проблема перечисления существующих понятий геологии. Проблема разделения геологических понятий на основные и вспомогательные (через "авторитеты" понятий, через основные задачи). Анализ существующего состояния понятийной базы геологии. Основные причины этого состояния. Формальное совершенствование понятийной базы геологии. Совершенствование существующей системы понятий геологии или (и) создание новой? Два известных подхода к выбору фундаментальных понятий геологии: "снизу" - через химический элемент и физическое время, и "сверху" - через земную кору и геологическое время. Два известных подхода к построению фундаментальных понятий: от границ к телам, от тел к границам, от горной породы к свойствам, от свойств к горной породе. Требования к определениям основных понятий геологии. Фундаментальные геологические понятия: геологическое пространство, геологические границы, геологические тела. Универсальная схема описания геологических тел. Свойства геологических тел. Взаимоотношения между геологическими телами и границами. Теоретико-множественная и содержательная интерпретация. Опыт анализа и

совершенствования отдельных понятий: горная порода, фация, парагенезис, складка, граница, разрыв и др.

2. Типизация геологических задач.

В настоящее время в геологии нет единого представления о том, что является задачей; математические методы и ЭВМ применяются при решении лишь некоторых вопросов; при решении одного и того же вопроса используются различные математические представления; с помощью одних и тех же математических представлений решаются разные вопросы; различно толкуют то, что является математической постановкой и что — математическим решением вопроса; различно оценивают и математическую постановку, и математическое решение вопросов геологии. Эти проблемы связаны с одной узловой теоретической проблемой — выявлением и перечислением всех типов геологических задач. Перечисление необходимо провести, исходя из теоретического существа задач, независимо от принятого деления этих задач по содержанию областям геологии и независимо от математических представлений, которые привлекаются сейчас для их решения. Кроме того, желательно это перечисление провести с использованием ассоциативного подхода — выделить такие типы элементарных задач геологии, что их сочетания порождают типы простых задач геологии, которые в свою очередь, при сочетании, дают типы сложных задач геологии.

Общие представления о научных целях, задачах, их постановке, решении, оценке; о связи научных задач между собой, о группировке простых задач в сложные. О связи задач с элементами теоретического аппарата. Определение и различие элементарных, простых, сложных, составных и т.п. задач науки. Множество всех задач геологии, решаемых традиционными методами, и связи между ними — обзор известных представлений. Новое перечисление множества всех задач геологии. Задачи в геологическом пространстве: элементарные задачи (введение расстояний, мер сходства, мер связи, вероятностной меры, выделение, описание, введение отношений, образов и групп), простые задачи (распознавание, диагноз, группирование и др.), сложные задачи (поиск, предсказание в физическом и геологическом времени).

Множество задач геологии, решаемых сейчас с помощью математики и ЭВМ – обзор известных представлений. Математическая постановка и математическое решение задач геологии. Математическая постановка новой задачи: математическая фиксация множества рассматриваемых объектов, экспериментального материала и теоретических предположений, множества допустимых способов решения и критерия для оценки решения, указание связи с другими известными математическими задачами. Математическое решение новой задачи: замкнутое и незамкнутое. Геологические результаты математического решения задачи, их правильная оценка. Возможности для применения в геологии тех или иных математических представлений.

3. Элементы теории классифицирования в геологии.

Классификация в геологии играет основную роль при определении понятий, построений диагностирующих схем, записи и хранении данных. Сейчас во всех областях геологии существует много конкурирующих между собой классификаций, каждый год их число растет. Это является объективным свидетельством необходимости совершенствования классификаций. Такая необходимость оказывается особенно настоятельной в связи с применением в геологии математических методов и ЭВМ, с построением автоматизированных систем сбора, хранения, выдачи и обработки геологических данных и систем управления геологическим производством.

Принятые представления о классификации. Классификация – система классов, процедура построения и (или) использования систем классов. Частные виды классификаций. Цели классификации – определение одних свойств через другие, предсказание новых объектов, фиксация объема множеств. Правила построения классификаций. Недостатки принятых представлений с геологических позиций. Классификация – выражение наших модельных представлений: формальные и содержательные оценки этих представлений. Корректные и некорректные, целесообразные и нецелесообразные, экономичные и неэкономичные классификации. Элементы теории геологических классификаций: определение общей процедуры классифицирования, определение всех частных видов классификаций, операции над ними, разработка способов их

оценивания, построения, представления и использования. Задача классифицируемого множества объектов. Свойства классифицируемых объектов и их виды: объективные, субъективные, одностепенные, многостепенные, освоенные, неосвоенные, непосредственные, опосредованные, просто фиксируемые, сложно фиксируемые, арифметические, логические, с фиксированной мерой сходства, с нефиксированной мерой сходства. Свойства допустимые (объективные, одностепенные, с фиксированной мерой сходства). Проблема выбора шкалы. Отношения между признаками. Отношения между свойствами. Связь и меры связи. Разбиение множества, классы эквивалентности. Одинаковые разбиения множества. Отношение диагностирования и отношение эквивалентности на множестве классификационных построений. "Классификация классификаций". Классификация и систематизация перечисления и диагноза. Значение перечислительных и диагностических классификационных построений. Классификации-перечисления. Способы их представления. Описание классификаций, их числовые характеристики. Операции над классификациями. Способы построения классификаций. Перечисление по компонентному составу. Оценка современного состояния классификаций в геологии.

4. Элементы теории геологического районирования.

Районирование в геологии, так же как и классифицирование, является одним из основных средств проведения и организации научной и производственной деятельности. Оно обеспечивает выделение в пространстве всех геологических объектов исследования. Сейчас во всех областях геологии существует много конкурирующих между собой подходов к районированию и схем районирования. Это говорит о необходимости рассмотрения, с одной стороны, принципиальных вопросов, связанных с районированием, с другой стороны, построения критериев для оценок качества районирования. Эта необходимость оказывается особенно острой в связи с построением автоматизированных схем решения задач поиска полезных ископаемых на ЭВМ.

Принятые представления о районировании в различных областях геологии (сейсмическое, металлогеническое, палеогеографическое, тектоническое и др.). Общие представления о райониро-

вании в географии и экономике. Районы "естественные" и "искусственные", простые и сложные, функциональные и др. Цели и значение районирования. Правила районирования. Районирование - выражение наших модельных представлений: формальные и содержательные оценки этих представлений. Корректные и некорректные, целесообразные и нецелесообразные, экономичные и неэкономичные способы районирования. Элементы теории геологического районирования: определение общей процедуры районирования, установление связи с общей процедурой классифицирования, определение частных способов районирования, разработка способов их оценивания, представления и использования. Задание исходного пространства. Задание расстояния и мер сходства. Разбиение пространства на однородные компоненты связности. Районирование как сложная процедура: классификация (перечислительная и диагностическая) объектов, разбиение классов эквивалентности на компоненты связности, построение границ для этих компонент. Особый способ районирования - группирование районов. Связь с задачей группирования - конструирования объектов с заданными свойствами. Классификация-перечисления процедур районирования. Способы формулирования целей районирования (для перечисления и для диагноза). Способы представления результатов районирования. Структурный, формационный и фациальный анализы, их связь с районированием. Обзор работ по теории районирования. Оценка современного состояния проблем районирования.

5. Методы описания геологических объектов исследования.

Решение геологических задач обязательно включает в себя описание объектов исследования. Традиционными являются словесное и графическое описание. Широко известны достоинства словесных и графических описаний геологических объектов исследования, однако, они имеют и ряд серьезных недостатков: обладают очень большой степенью неопределенности, не дают возможности отделить в них то, что обусловлено фактическими данными, от того, что обусловлено нашими возможностями и нашими представлениями и гипотезами. Кроме того, они не позволяют

вводить какие-либо четкие процедуры сравнения геологических объектов, давать четкие оценки качества их описания. Фактически они исключают возможность эффективного применения математических методов и ЭВМ и, кроме того, полностью исключают возможность построения сколько-нибудь абстрактных теорий геологических объектов исследования.

Общие логико-философские представления об описании объектов научного исследования. Правила научного описания. Определение объектов исследования - фиксация и определение всех их возможных характеристик. Описание: "вообще", целевое, подробное, короткое, многообразное, устойчивое, информативное, просто реализуемое, ориентированное на способ действия над объектами. Палеонтологическое, литологическое, петрографическое и другие геологические описания. Их общий критический анализ. Исходные предпосылки для совершенствования способов описания геологических объектов, ориентированных на построение абстрактных теорий, применение математических методов и ЭВМ: учет имеющегося опыта описания в различных областях геологии (особо в геофизике) и в других областях знаний (особо в математике и физике); использование формальной системы геологических понятий; использование известных математических абстракций; использование моделирования на ЭВМ; использование распознавательских методов оценки описания. Сведение проблемы описания геологических объектов к проблеме описания геологических тел. Простые и сложные геологические тела. Универсальная схема описания геологических тел. Характеристики тела (форма, размер, центр масс, ориентация, вещественный состав, структура, вещественная структура, границы, возраст, генезис). Непосредственные и опосредованные (возраст, генезис) характеристики тел. Простые и сложные (структура, вещественная структура, граница) характеристики тел. Геометрические, вещественные и вещественно-геометрические характеристики тел. Структура тела (перечень структурных элементов, их конфигурация, решетка, ориентировка), вещественная структура тела (компонентный состав, вещественная конфигурация), граница тела (способ выделения, форма, характер, природа). Обзор и анализ работ, связанных с описанием. Перечень

требований к описанию плоских знаков (инвариантность относительно некоторого класса преобразований, универсальность, постепенная и предельная подробность, разнородность и независимость свойств и признаков, равная длина, техническая реализуемость, объемность). О постановке задачи на описание простых геологических тел. О постановке задачи на описание сложных геологических тел. Проблема приведения сложного геологического тела к квазипростому виду. Теоретические вопросы описания сложных геологических тел — получение вещественно-геометрических характеристик на основании идей теории графов. Обзор работ по совершенствованию способов описания геологических тел.

6. Методы определения мер сходства между геологическими объектами исследования.

Решение всех геологических задач обязательно предполагает рассмотрение сходства и различия между объектами, выявление типичных (обычных) и случайных (исключительных) объектов, разбиение объектов на подмножества сходных между собой. В настоящее время в геологии не имеется какого-либо систематического подхода к проведению этих исследований.

Общие логико-философские представления о сходстве и различии между объектами. Относительный, объективный и субъективный характер сходства и различия между объектами. Связь вопросов о сходстве и различии между объектами, о типичных и случайных объектах, о разбиении объектов на группы сходства в биологии, медицине, географии и геологии. Меры сходства между объектами, используемые в задачах распознавания: линейные, угловые, нормированные, ненормированные и др. Меры типичности, представления об эталонах, используемые в распознавательских задачах, их анализ. Идея аксиоматического подхода к определению меры сходства между объектами. Общие аксиомы для мер сходства. Ноль-единичная мера сходства по одному свойству. Непрерывная мера сходства по одному свойству. Множество мер сходства по одному и тому же арифметическому свойству. Эквивалентные меры сходства. Сравнение двух мер сходства по одному и тому же арифметическому свойству. Мера сходства по одно-

му логическому свойству 2-го рода: ноль-единичная мера сходства по совокупности свойств. Множество мер сходства по одной и той же совокупности свойств. Эквивалентные меры сходства. Сравнение двух мер сходства по одной и той же совокупности свойств. От меры сходства к мере различия - расстоянию, ограниченному или неограниченному. Обратный переход. Эвклидова мера сходства для одного арифметического свойства и для совокупности свойств арифметических. Матрица коэффициентов сходства, ее описание, ее свойства. Группирующие меры сходства по совокупности свойств, их назначение. Асимптотическое поведение меры сходства по совокупности свойств при возрастании числа свойств. Частные аксиомы для меры сходства, связанные с конкретной задачей. Возможные критерии для оценивания параметров меры сходства по совокупности свойств. Теоретические, математические и технологические трудности построения мер сходства по совокупности свойств. Разбиение множества объектов на подмножества сходных - разбиение множества на компоненты связности на основе заданной меры сходства по совокупности свойств и постоянной разбиения. Обзор работ, связанных с развитием методов установления сходства и различия между геологическими объектами, с их разбиением на подмножества сходных и отысканием типичных и случайных объектов.

7. Методы установления мер связи между геологическими свойствами и объектами исследования.

Установление и исследование той или иной связи в геологии (зависимости между свойствами, закономерности размещения объектов, приуроченности объектов и т.п.) принято толковать как конечную цель многих задач геологии. Известно, что зафиксированные связи могут быть использованы как эффективное средство при решении еще более широкого круга задач геологии. Не меньшую роль в геологии играет установление и использование фактов отсутствия связей. Только предварительное теоретическое изучение этих связей на основе привлечения математических методов и ЭВМ позволяет их объективно фиксировать и использовать. До недавнего времени в геологии исследование связей велось на основе геологических представлений, не имеющих однозначной трактовки, или на основе математических конструкций,

заимствованных из других областей, которые оказываются часто мало пригодными. Представляет интерес провести анализ существующих способов установления связи между геологическими свойствами и между геологическими объектами, а так же анализ способов использования этих связей.

Существующие в геологии представления о связи между свойствами и совокупностями свойств (стохастические и функциональные связи, генетические связи, положительные и отрицательные связи), сила связи, форма связи, способы установления и описания связи, использование наличия и отсутствия связи. Математические конструкции, используемые для установления и описания связей между свойствами в геологии. Классификация свойств (арифметические, логические I и 2 рода, просто и сложно фиксируемые) и совокупности свойств (арифметические, логические I и 2 рода, логико-арифметические, простые и сложные). Аксиоматический подход к определению меры и формы связи между разными свойствами и совокупностями свойств (через законы распределения, через меры сходства).

Существующие в геологии представления о связи между телами (и границами) и совокупностями тел (и границ). Аксиоматический подход к определению меры и формы пространственной связи между границами и между телами. Классификация отношений между границами: взаимосогласие, согласие, разногласие и несогласие, меры отвечающие этим отношениям, их использование. Теоретико-множественная и геологическая иллюстрация. Классификация отношений между телами: включение, исключение, сонахождение: простое, сложное, тесное, широкое, сопряженность, меры, отвечающие этим отношениям. Обзор работ, связанных с установлением и использованием связей между геологическими свойствами и геологическими объектами исследования.

8. Методы распознавания и группирования в геологии.

Многие практические задачи геологии могут быть истолкованы как задачи распознавания образов. Идеи и методы распознавания, в неявном виде, играют существенную роль и в теоретических геологических построениях. Представляет интерес провести оценку геологических результатов, полученных к настоящему

времени методами распознавания, и попытаться развить основы этих методов применительно к нуждам теоретической геологии.

Описание ситуации, в которых сейчас принято говорить о распознавании образов. Об опыте решения задач распознавания в геологии и в других областях. Об оценке результатов распознавания: разные школы, характеристика их методологических и теоретических концепций.

Методологические проблемы. Понятия "образ" и "распознавание образов". Связи "распознавания образов" с "построением функции по экспериментальным данным". "Разумные" ситуации, когда можно и когда нужно говорить о распознавании образов, их различение, "разумные" принципы действия в этих ситуациях; "разумные" принципы оценки результатов.

Теоретические проблемы. Классификация ситуаций: по объективности задания исходного множества; по объективности фиксации целевой функции; по характеру целевой функции; по характеру системы косвенных свойств; по характеру экспериментального материала; по целевому описанию экспериментального материала, по качеству экспериментального материала. Некоторые частные ситуации ("с учителем", "с плохим учителем", "без учителя"); выделение ситуаций по структуре исходного множества. Проблема задания меры сходства, вероятностной меры и других отношений на множестве. Определение "решающего правила" и "алгоритма распознавания". Классификация различных постановок задач распознавания для отдельных ситуаций. Зависимость качества распознавания от исходного материала и разбиения на материал "обучения" и "экзамена", количества "образов", меры сходства, вероятностной меры, решающего правила, совокупности свойств и их использования. Сопоставление различных подходов к выбору числа образов, материала обучения, меры сходства, вероятностной меры, решающего правила, совокупности свойств. Классификация решающих правил. Одинаковые, эквивалентные и сопоставимые решающие правила. Проблема выбора "информативной" совокупности свойств. Неконструктивные и конструктивные определения информативности совокупности свойств. Требования к конструктивной информативности совокупности свойств. Частный многопараметровый подход к выбору информативной совокупности свойств. Проблема "выбо-

ра "оптимального" материала обучения. Сопоставление различных подходов к оценке оптимальности материала обучения. Задачи выбора "оптимальных" совокупностей свойств и материала обучения - задачи группирования - задачи конструирования объектов с заданными свойствами. Ограничения на алгоритмы распознавания (независимость от произвола кодировки, от особенностей материала "обучения" и др.) - фиксация класса алгоритмов распознавания. Обзор частных алгоритмов распознавания. Проблема оценки алгоритмов распознавания. Принципы построения автоматизированной системы распознавания - универсальный и специализированный подходы. Особые случаи "распознавания". Обзор геологических работ, связанных с распознаванием образов.

9. Теоретические основы определения возраста геологических объектов исследования.

Сейчас принято считать необходимым условием удовлетворительного решения любых теоретических и практических задач геологии реконструкцию истории формирования исследуемых объектов. По-видимому, такой подход может быть обоснован при условии, что эта реконструкция сама по себе проводится удовлетворительным образом и притом достаточно просто. В процессе указанной реконструкции приходится помимо прочего использовать представление о возрасте этих объектов. Возраст геологических объектов (как относительный, так и абсолютный) является опосредованной характеристикой, вычисляемой на основе некоторых, определенным образом полученных, экспериментальных данных, с помощью некоторых процедур, построение и интерпретация которых зависит от ряда предложений и аксиом. Когда речь идет о теоретическом анализе основ определения возраста объектов в геологии имеется ввиду: анализ правил сбора экспериментальных данных, вычислительных процедур, применяемых к этим данным, а также используемых предположений и аксиом. При этом предполагается, что речь идет о формально зафиксированном множестве геологических объектов исследования, поскольку для различных множеств геологических объектов эти основы могут быть, вообще говоря, различными.

Стратиграфическая классификация, ее теоретические основы,

правила, природа. Международная стратиграфическая шкала, ее подразделения, границы, их субъективный и объективный характер. Определение относительного возраста геологических тел — установление отношений эквивалентности и строгого порядка на множестве расклассифицированных геологических тел. Прямое теоретическое определение этих отношений на основании геометрических соображений: "лежит на (под)", "включается в (из)" и "переслаивается". Проблема прямого и косвенного экспериментального определения этих отношений для "малых" и "больших" тел. "Условное" экспериментальное определение этих отношений на "больших" телах. Объективные и субъективные аспекты в определении отношений между геологическими телами. Целевой аспект. Теоретические определения для частных колонок тел и для сводных колонок классов тел. Аксиомы для построения сводной колонки. Отношение двух тел к третьему. Аксиомы эквивалентности двух тел — отношение двух тел ко всем остальным. Теоретико-множественная и геологическая интерпретация этих прямых определений. Косвенное определение отношения эквивалентности и строгого порядка через ископаемые остатки, литолого-петрографические и палеомагнитные данные, данные радиоактивного распада. Общая область действия прямого и косвенного способов определения этих отношений, их частные области действия. Общая постановка задачи косвенного определения отношений эквивалентности и строгого порядка через характеристики тел. Проблема оценки качества косвенного определения отношений эквивалентности и порядка. Проблема "периодизации" сводной колонки классов тел, заданной в линейном виде. Отдельные уровни этой колонки, их описание, в частности, через ископаемые остатки и литолого-петрографические данные, меры сходства между уровнями, границы между уровнями, их классификация. Теоретико-множественная и геологическая интерпретация. Объективные и субъективные аспекты этой периодизации. Целевые аспекты.

Использование данных радиоактивного распада как прямого метода определения абсолютного возраста. Невозможность "истинного" построения прямого экспериментального способа определения содержания изотопов для "больших" тел. "Условное" содержание изотопа в "больших" телах. Возможные модификации в его определении. Объективные и субъективные аспекты определения

"условного" содержания изотопа. Целевые аспекты. Абсолютный возраст и физическое время. Зависимость результатов временной интерпретации от выбора радиоактивного элемента. Выбор оптимального радиоактивного элемента для класса тел. Его объективные и субъективные аспекты. Градуировка сводной колонки для классов тел. Задачи о геологических телах, в которых нельзя обойтись без возраста этих тел. Что дает "хорошее" знание "возраста" Земли и отдельных тел. Обзор работ, связанных с применением математических методов и ЭВМ при определении возраста.

10.0 формационном и фациальном анализе.

Традиционные теоретические методы региональных геологических исследований основываются на представлениях о формациях и фациях, на формационном и фациальном анализе. Основные идеи таких теоретических методов, безусловно, являются весьма плодотворными. Однако до сих пор в понимании понятия формация и фация, в толковании существа формационного и фациального анализа, в особенности, в правилах и оценках их проведения нет должной ясности. В результате, в частности, не имеется возможности сколько-нибудь удовлетворительным образом систематизировать данные, полученные разными исследованиями по одному и тому же или, тем более, разным регионам.

Существующие представления о содержании понятий "фация" и "фациальный анализ". Основная идея фациального анализа. Традиционные определения понятий "фация". Общее сходство и различие этих определений. "Бытовой" характер традиционных определений понятия о фациях: примерность, неоднозначность, противоречивость. О неудачах попытки уточнения понятия о фациях, причины неудач. Об ином подходе к уточнению понятия фации: использование известных формальных конструкций и правил, разработка логического плана для уточнения этой формулировки. Формальное определение цели и задачи фациального анализа. Описание результатов фациального анализа. Критерии для оценки правильности проведения фациального анализа. О существовании и единственности решения фациальных задач. Вспомогательные задачи, связанные с фациальным анализом: выделение компонент

связности и выделение пространственных компонент связности ; формальная схема фациального анализа. Определение понятия о фациях. Систематика фаций. Схема описания фаций. Конкретизация понятия о фациях для различных геологических ситуаций. О содержательных геологических задачах, решаемых с помощью фациального анализа. Возможности и перспективы применения математических методов для решения задач фациального анализа.

Формационный анализ как метод упорядочения геологических данных на системной основе. Идея формационного анализа. Существующие определения формаций. "Бытовой" характер традиционных определений понятия о формациях: неоднозначность, противоречивость. Традиционные способы выделения, описания, классифицирования и использования формаций. Общая оценка состояния формационного анализа. О необходимости формальных построений при уточнении понятия о формации. Анализ практических приемов формационного анализа на конкретных примерах. Предварительная формулировка цели и задачи формационного анализа. Об исходных понятиях и предварительных соображениях для уточнения этой формулировки. Условия, которым должны удовлетворять тела, выделяемые в качестве формаций. Формальное определение процедуры формационного анализа и разъяснение его сущности. Описание результатов формационного анализа. Критерии для оценки правильности проведения формационного анализа. Формальная схема формационного анализа. Определения понятия о формациях. Схема описания формаций. Конкретизация понятия о формациях для различных геологических ситуаций. Содержательные геологические задачи, решаемые с помощью формационного анализа. Возможности и перспективы применения математических методов для решения задач формационного анализа.

Сравнение определений, идей и процедур фациального анализа и формационного анализа.

Обращенные виды фациального и формационного анализов, формации, фации и "уровни организации вещества". Обзор последних работ, связанных с совершенствованием фациального и формационного анализов.

II. Генетические и агенетические концепции в геологии.

В геологии очень широко используется "генетический прин-

цип", согласно которому конечной целью почти всех теоретических исследований и необходимым средством теоретически обоснованного решения всех практических задач является познание истории и причин формирования исследуемых объектов - их "генезиса". Результаты исследований, которые можно назвать агенетическими (структурно-морфологические и вещественные характеристики объектов), считаются необходимыми, но еще недостаточными для того, чтобы можно было их с успехом использовать. В связи со сказанным, "генетическим" проблемам уделяется сейчас большое, подчас слишком большое внимание. Можно сказать, что теперь в геологии стало модным недостаток фактов восполнять пространными "генетическими" рассуждениями. Многие видят в этом примечательную особенность геологии. Разумеется, "генетические" рассуждения имеют законное право на существование, могут быть весьма полезны, но они всегда носят гипотетический, спорный характер. Необходим тщательный анализ разумного соотношения генетических и агенетических концепций в геологии, в частности для выработки критериев оценки теоретического геологического знания, для выбора эффективных способов решения геологических задач.

Геологические объекты исследования и процессы в традиционном понимании, различные трактовки того, что следует понимать под выяснением их генезиса. Основные недостатки наших общих представлений о генезисе геологических объектов исследования и процессов.

Сущность генетического принципа в познавательном процессе. Генезис как цель теории и как средство решения задач воспроизведения объектов исследования, управления процессами, установления связи и диагноза свойств, получения обобщенных описаний и объяснений. Положительные и отрицательные стороны генетического принципа. Сущность агенетического направления. Положительные и отрицательные стороны этого направления. Какой характер - генетический или агенетический носят наши представления о природе, о ее законах? Примеры разработанных теорий генетического характера. Соотношение генетического подхода к познанию природы с лингвистическими проблемами научного языка. Аргументы в пользу генетического и агенетического под-

ходов при решении генетических задач. Соотношение генетических и агенетических концепций: генетические соображения на "предмодельном" и "послемодельном" уровнях, агенетические модели. Трудности решения задач при агенетических и генетических концепциях. Роль генетических и агенетических представлений в теоретической и прикладной геологии. Принцип актуализма, его формальная трактовка. Значение меры сходства при выяснении генезиса; принцип множественности выбора признаков, генетические признаки, генетические классификации. Роль модельных теоретических представлений и законов при выяснении генезиса. Критерии эффективного установления и различия генетических гипотез. Роль генетических гипотез в обосновании результатов геологических построений. Известные способы применения агенетических и генетических представлений при математической постановке задач геологии. Принципиальные возможности и условия оптимального совмещения в геологии математических подходов и генетических представлений.

12. Теоретические основы геологической интерпретации геофизических и геохимических данных.

В настоящее время развитие геологии характеризуется, прежде всего, резким повышением интересов к глубинным частям земной коры и к строению дна морей и океанов. В этих новых областях приложения геологии доминирующую роль играют геофизические и геохимические методы. В связи с этим, особенно остро встает вопрос о геологической интерпретации комплексных геофизических и геохимических данных.

Два подхода к истолкованию существа геологической интерпретации геофизических и геохимических данных: через "ближайшую" модель (построение физико-химической модели и ее геологическое истолкование) и через геологическую задачу, эффективную модель. Сопоставление этих подходов. Существующие представления о геологических задачах, при решении которых используются геофизические и геохимические данные.

О накопленном опыте геологической интерпретации геофизических и геохимических данных внутри отдельных методов и в комплексе методов. Характеристика состояния геологической ин-

терпретации данных внутри отдельных методов: многоэтапность и громоздкость интерпретации, несогласованное рассмотрение отдельных этапов, отсутствие математических постановок задач для некоторых из этапов, интуитивный характер их проведения, формальная неоднородность интерпретации в целом, отсутствие устойчивых и хороших критериев их оценки и сопоставления. Раздельное рассмотрение вопросов получения и обработки данных, недостатки такого разделения. Громоздкость и интуитивный характер геологической интерпретации комплексных геофизических и геохимических данных. Возможные пути совершенствования: теоретический анализ и обобщение накопленного опыта, совершенствование физико-химических предпосылок и постановок геологических задач, комплексирование данных различных методов, использование нового математического подхода (теория статистических решений, распознавание, группирование, теория исследования операций и др.), использование ЭВМ, автоматизированных средств ввода и вывода, ИПС, совместное рассмотрение вопросов получения и обработки данных, учет экономической эффективности. Две тенденции совершенствования интерпретации: повышение скорости проведения, повышение надежности результатов.

Цели теоретического обобщения: выработка критериев сопоставления и оценки надежности результатов, полученных за счет методов и методик интерпретации, построение единых формальных схем количественной и качественной интерпретации для различных методов, построение формальных схем комплексной интерпретации, выработка способов оценки надежности результатов и требований к алгоритмическому обеспечению этих схем.

О корреляционной схеме. Последовательное и параллельное использование комплексных геофизических и геохимических данных. Количественная и качественная схема интерпретации при решении задач на выделение и описание. Количественная интерпретация: предварительная обработка исходных данных, разбиение их на массивы, выбор типа и вида зависимости, оценивание параметров. Решение прямых и обратных задач. Качественная интерпретация: предварительная обработка исходных данных, разбиение их на массивы, выбор типа и вида алгоритмов. Решение модельных задач. Основные типы моделей. Основные теоретические трудности. Проблема однозначности и устойчивости. Проблема

оценки геологической эффективности.

О совершенствовании постановок геологических задач. Проблема разбиения геологической задачи на отдельные формальные задачи. О математической постановке этих формальных задач.

Математические задачи, связанные с геологической интерпретацией комплексных геофизических и геохимических данных: построение классификаций (перечисления и диагноза), группирование, описание, установление сходства и различия, районирование, выбор типа и вида зависимости, оценивание параметров, решение дифференциальных уравнений и др.

IV. Заключение.

Задача предварительного проектирования работ по созданию теоретической геологии отвечает возросшим запросам управления научным прогрессом [52] .

Отметим в связи с этим некоторые научно-организационные моменты. В первую очередь, следует позаботиться о систематическом и доступном изложении уже полученных результатов и имеющихся работ по теоретической геологии, представленных в основном, в отдельных статьях и докладах, в трудах различных конференций и в специальных сборниках, не доступных широкому кругу читателей. Необходима разработка соответствующих учебных пособий и методических руководств. (Авторские коллективы таких книг сами по себе являются эффективной формой организации теоретических исследований). Без них немислима подготовка соответствующих теоретических кадров. Поэтому в стремлениях к объединению теоретических исследований должно иметь место чувство ответственности перед младшими и будущими поколениями исследователей, на которых ляжет основной труд по теоретическому синтезу геологических знаний.

В перспективе исследований по теоретической геологии на ближайшие годы - интенсивная разработка и усовершенствование отдельных частных и общих прикладных теорий (например, теории комплексной интерпретации геофизической, геохимической и геологической информации, теории стратиграфической корреляции, теорий формационного и фациального анализа, общей теории поиска полезных ископаемых и пр.). Будут решаться отдельные проблемы фундаментальных теорий (теории геологического про-

странства, теории геологических структур, общей теории стратиграфии и пр.). Несомненно, будут исследоваться отдельные, наиболее интересные методологические проблемы геологии. Но совершенно ясно, что в целом, без более тесной координации работ все это будут по-прежнему попытки строить теоретическую геологию "по частям".

Следующий необходимый шаг - координация и планирование исследований по единой общей программе, организация проблемных и "неформальных" коллективов с участием разнообразных специалистов - от теоретиков и "математизаторов" геологии до философов и методологов, от науковедов и организаторов науки до педагогов и работников научно-информационной службы.

Л и т е р а т у р а.

1. Peschel G. *Entwicklungstendenzen der geologischen Theorie*. Z.geol. Wiss., Berlin 1 (1973) 10, S.1237-1247.
2. Peschel G. Grundprobleme der theoretischen Geologie im Lichte der materialistischen Dialektik. In: "Beiträge zur Theorie der Komplexinterpretation geowissenschaftlicher Informationen", Teil II. - Wiss. techn. Inform.-Dienst Zentr. geol. Inst., Berlin 14 (1973) Sonderh. 12; S. 9-47.
3. ШАРАПОВ И.П. Проблема научной революции в геологии. - В сб.: "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых", ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1973, с. 40-62.
4. НАЗАРОВ И.В. Методологические аспекты современного положения геологии и ее будущего. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математи-

ческих методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.

5. Sidorenko A.W. Die Geologie und der wissenschaftlich-technische Fortschritt. Z. angew. Geol. 17, 6, S. 209-213, Berlin, 1971. ;
6. ШАРАПОВ И.П. История математической геологии. - В кн.: "Материалы по истории геолого-географических наук. XIII Международный конгресс по истории науки СССР. Москва, 18-24 августа 1971". М., "Наука", 1971.
7. ГЛУШКОВ В.М., ДОБРОВ Г.М., ТЕРЕШЕНКО Ф.П. Беседы об управлении. Киев, "Наукова думка", 1974.
8. ОНОПРИЕНКО В.И. Методологические и теоретические вопросы наук о Земле. - Изв. АН СССР, сер. геол., № II, 1971.
9. ОНОПРИЕНКО В.И., ПОВАРЕННЫХ А.С. Исследование структуры геологического знания как методологическая проблема. - В кн.: "Методологические вопросы геологических наук". Вып. 2, Киев, "Наукова думка", 1974.
10. ШАРАПОВ И.П. Строение геологического знания. - В кн.: "Методологические проблемы геологии", Киев, "Наукова думка", 1974, с. 9-17.
11. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск, "Наука", Сибирское отделение, 1974.
12. ШАРАПОВ И.П. Роль логики и математики в современной геологии. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
13. НАЗАРОВ И.В. Специфика гипотезы в геологии. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
14. БОРОВИКОВ А.М. К постановке задачи создания системы теоретической общей геологии. Препринт ВЦ СО АН СССР,

серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.

15. ФЕРХУТЕН ДЖ., ТЕРНЕР Ф., ВЕЙС Л. и др. Земля. Введение в общую геологию. т. I, т. II, М., "Мир", 1974.
16. ОНОПРИЕНКО В.И. Основные направления методологических исследований в геологии. - Геол. журнал, 1972, XXXII, 2.
17. ОНОПРИЕНКО В.И. Общие принципы математизации геологического знания. - Геол. журн., 1972, XXXII, I.
18. ОНОПРИЕНКО В.И. О системе исследований методологии геологического знания. - В кн.: "Методологические проблемы геологии". Киев, "Наукова думка", 1975, с.3-8.
19. Thiergärtner H. Prognose der Beziehungen zwischen Geologie und Mathematik, - "Ber. Dtsch. Ges. Geol. Wiss.", Berlin, 1968, H. 4, Bd. 13, S. 493-503.
20. Программа и методические разработки к курсу "Применение математических методов и ЭВМ при поиске и разведке полезных ископаемых". Ротапринт КОМЭ МГ КазССР, Алма-Ата, 1973.
21. ВОРОНИН Ю.А. Теоретическая геология и научно-организационная основа ее построения. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
22. ОБЧИННИКОВ Н.Ф. Особенности развития и тенденция к единству научного знания. - В кн.: "Проблемы истории и методологии научного познания", М., "Наука", 1974.
23. ДЕПЕНЧУК Н.П. Материалистическая диалектика и методы биологического исследования. Киев, "Наукова думка", 1973.
24. КРУТЬ И.В. Исследование оснований теоретической геологии. М., "Наука", 1973.
25. КОСЫГИН Ю.А., СОЛОВЬЕВ В.А. Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследова-

- ниях. - "Изв. АН СССР, сер. геол.", 1969, № 6.
26. ХАРВЕЙ Д. Научное объяснение в географии. М., "Прогресс", 1974.
 27. Модели в географии. М., "Прогресс", 1971.
 28. НЕЕФ Э. Теоретические основы ландшафтоведения. М., "Мир", 1974.
 29. ГОХМАН В.М., ГУРЕВИЧ Б.Л., САУШКИН Ю.Г. Проблемы метагеографии, "Вопросы географии", 1968, № 77.
 30. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ В.С. Беседы о современной физической географии. М., "Наука", 1972.
 31. БУНГЕ В. Теоретическая география. М., "Прогресс", 1967.
 32. СОЧАВА В.Б. Определение некоторых понятий и терминов физической географии. - "Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока", Вып. 3, 1963.
 33. СОЧАВА В.Б. Структурно-динамическое ландшафтоведение и географические проблемы будущего. - "Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока", Вып. 12, 1967.
 34. СОЧАВА В.Б. Проблемы современной теоретической географии. Послесловие в кн.: Д. Харвей "Научное объяснение в географии". М., "Прогресс", 1974, с. 471-481.
 35. НАЗАРОВ И.В. К вопросу о структуре методологии науки. - В сб. "Проблемы диалектики", вып. IV, Л., ЛГУ, 1974, с. 40-44.
 36. Геология и математика. I, II. Новосибирск, "Наука", 1967, 1970.
 37. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Универсальная схема аналитического описания сложных геологических тел. - В кн.: "Математические методы в геологии и геофизике". Новосибирск, 1968, с. 21-35 (Тр. СНИИГТИМС, вып. 79).
 38. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. О процедурах сопоставления сложных геологических тел на основе их аналитического описания. - В кн.: "Математические методы в геологии и геофизике". Новосибирск, 1968, с. 36-48. (Тр. СНИИГТИМС, вып. 79).
 39. ВОРОНИН Ю.А., НУРЦИСОВ М.Д. Об одном новом способе описания и классифицирования плоских геологических тел

- по ориентации, форме и f - составу. - В кн.: "Математические методы в геологии и геофизике". Новосибирск, 1968, с.49-61 (Тр.СНИИГТИМС, вып.79).
- 40.ВОРОНИН Ю.А., АЛАБИН Б.К. О постановке и решении задач группирования. - В сб.: "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых". Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1972.
- 41.ВОРОНИН Ю.А., КОЗЛОВА О.С. О математическом обеспечении ЭВМ для решения задач районирования. - В сб.: "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых", Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1972.
- 42.БЕРДУН Т.А., ВОРОНИН Ю.А. Общие вопросы районирования в теоретической геологии. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
- 43.ВОРОНИН Ю.А., МАРАСУЛОВ А.Ф., УМАРОВ Р.Д., ХАЛИКОВ А.К. Введение мер сходства и связи для решения геофизических задач - В сб.: "Математические проблемы геофизики", вып. II, Новосибирск, 1971.
- 44.ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. О генетическом и агенетическом направлениях. Новосибирск, ВИНТИ, 3934-72 Деп., 1972.
- 45.УСМАНОВ Ф.А. О классификации геологических задач нахождение n - отношений и прогнозирования полезных ископаемых. - В сб.: "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых", Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1973, с.8-26.
- 46.УСМАНОВ Ф.А. Типизация задач геологии на основе систематики геологических пространств. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
- 47.УСМАНОВ Ф.А. Отношения между геологическими телами и их математические свойства. - В сб.: "Применение ма-

тематических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых", Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1975, *9*.
164-193.

48. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Фации и формации. Парагенезис. Уточнение и развитие основных понятий геологии, Новосибирск, "Наука", 1972.
49. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Вопросы теории формационного анализа. - В кн.: "Сравнительный анализ осадочных формаций". М., "Наука", 1969, с.123-145, (Тр.ИГиГ СО АН СССР, вып.83).
50. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВА И.А., ЕГАНОВ Э.А. К проблеме упорядочения объектов в геологии. - В кн.: "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых", Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974, с.119-163.
51. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВА И.А., ЕГАНОВ Э.А. Анализ концепции уровней организации в теоретической геологии. Препринт ВЦ СО АН СССР, серия Библиотека конференции "Применение математических методов и ЭВМ при решении типовых геологических задач", Новосибирск, 1975.
52. ПЕТРОВ М.К. Системные характеристики научно-технической деятельности. - В кн.: "Системные исследования". Ежегодник, 1972, М., "Наука", 1972.

Ю.А.Воронин, Р.А.Мукимов

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЭВМ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

I. Как известно, подсчет запасов полезных ископаемых имеет большое практическое значение [2-5]. На основании этого подсчета принимается ряд важных директивных документов. Подсчетом уже длительное время занимается большое число исследователей, накоплено много данных. Более 50 лет к подсчету привлекаются различные математические, в том числе вероятностные, концепции. Более 15 лет при подсчете используются ЭВМ, построен ряд АС по подсчету запасов полезных ископаемых [1]. Детальное рассмотрение общих вопросов подсчета, по нашему мнению, может оказаться полезным со всех позиций: практических, теоретических и методологических. В известном смысле в подсчете запасов, как в зеркале, отражаются все важнейшие черты применения геофизических и геохимических методов, математических методов и ЭВМ в геологии. Сейчас, когда теоретические вопросы поисков и разведки полезных ископаемых удалось с формальных позиций несколько уяснить [1], по-видимому, имеет смысл рассматривать подсчет запасов как первоочередной и важнейший вопрос приме-

нения математических методов и ЭВМ в геологии, так сказать, наиболее подходящий пункт прорыва новых подходов и методов исследования на оперативный геологический простор.

2. Общие вопросы применения математических методов и ЭВМ при подсчете запасов полезных ископаемых, как и все основные вопросы поисков и разведки полезных ископаемых, таковы, что для их разрешения необходимы многолетние усилия большего коллектива. Как представляется, сейчас важно лично вскрыть и продвинуться в решении некоторых из этих вопросов, но еще более важно создать приемлемую программу долголетних совместных действий для их разрешения. Последнее оказывается весьма сложным делом. К сожалению, в геологии до сих пор уделяется мало внимания разработке таких программ.

3. Представляется, что в целях действительного разрешения интересующих нас вопросов в первую очередь следует проанализировать тенденции развития и современное состояние подсчета запасов полезных ископаемых. Вначале это необходимо сделать отдельно по конкретным видам полезных ископаемых, прежде всего, для нефти и золота. Для этого сейчас следует попытаться сформулировать ряд основных вопросов и критериев, а также предварительных суждений, которые должны быть уточнены и развиты в процессе конкретного анализа. Такая попытка и предпринимается далее. Следует, подчеркнуть, что необходимость такого анализа вытекает, в частности, из необходимости совместных работ геологов и математиков по подсчету запасов, из необходимости понять друг друга. У математика, пытающегося разобраться в подсчете запасов с тем, чтобы оказаться действительно полезным делу, не могут не возникнуть многие вопросы. Эти вопросы, как правило, вызывают у опытного геолога сильнейшее раздражение. С этим приходится считаться. Часть из этих вопросов можно сформулировать, положим, следующим образом. Почему результаты подсчета запасов, полученные на основе подчас очень сложных физико-химических и математических концепций, с использованием ЭВМ, утверждаются в ГКЗ СССР на основе инструкций, не имеющих однозначного смысла? Что мы делаем, когда подсчитываем запасы: решаем какую-либо задачу или готовим данные для экспертизы? О чем надо заботиться в первую очередь: улучшать инструкции по подсчету запасов, до-

учивать экспертов ГИЗ СССР или строить автоматизированные системы по подсчету запасов. Как их строить и, главное, как оценивать?. Что они могут дать? Какой математический смысл имеют категории запасов и в чем суть перевода из низших категорий в высшие? Откуда появились различные формулы подсчета запасов, как их вывести и увязать с надежными данными добычи? Обязательно ли для целей направления поисково-разведочных работ считать прогнозные и перспективные запасы, нельзя ли заменить такой подсчет какой-либо другой процедурой? Являются ли наши претензии к математике и ЭВМ в связи с подсчетом запасов основательными? Являются ли наши надежды на успех за счет подражания действиям опытных геологов, без поиска качественно новых подходов, обоснованными? Разумны ли наши попытки прийти к практически полезным результатам, минуя методологические и теоретические разработки? Ясно, что сейчас нет возможности быстро получить ответы на эти вопросы, Однако детальное их рассмотрение, без профессиональных амбиций, может, по нашему мнению, оказаться полезным со всех позиций.

4. По-видимому, прежде всего, следует обратиться к уяснению следующих трех важных обстоятельств.

(1). Можно ли считать, что за последние 50 лет удалось существенно повысить точность подсчета запасов, скорость проведения подсчета, а так же существенно удешевить процедуру подсчета запасов полезных ископаемых? Если удалось, то за счет чего именно? Если не удалось, то почему именно?

(2) Отвечает ли современным требованиям существующая точность, скорость и стоимость подсчета запасов полезных ископаемых? Если не отвечает, то какими именно путями можно улучшить упомянутые показатели подсчета запасов по отдельности? Каким образом следует упорядочить эти отдельные показатели подсчета запасов, точность, скорость и стоимость, по важности и построить единый критерий повышения эффективности подсчета запасов полезных ископаемых? Если же точность, скорость и стоимость подсчета запасов отвечают нашим требованиям, то почему именно и как в этом убедиться?

(3) Сколь эффективным оказалось применение различных математических, в том числе вероятностных, концепций и ЭВМ в повышении точности, скорости и стоимости подсчета запасов по-

лезных ископаемых? Каким образом можно повысить эффективность применения математических методов и ЭВМ?

5. Как представляется, за последние 50 лет точность и скорость подсчета запасов полезных ископаемых на разных стадиях и для разных видов полезных ископаемых существенно не увеличились. Точность осталась примерно той же, в основном, по двух причинам:

(1). Сейчас, как и 50 лет назад, мы пользуемся формулами подсчета запасов полезных ископаемых, которые имеют одно и то же обоснование (вернее не имеют его) и совпадают друг с другом с точностью до главных членов.

(2). Сейчас, как и 50 лет назад, мы пользуемся теми же по точности, хотя и более громоздкими, методиками определения основных переменных, входящих в формулы и ответственных за показатели извлечения полезных ископаемых.

Скорость же осталась примерно такой же в силу того, что затраты времени на сбор и подготовку данных для подсчета запасов полезных ископаемых, по сравнению с которыми можно пренебречь всеми другими затратами времени, остались теми же, что и 50 лет назад.

Что же касается стоимости процедуры подсчета запасов полезных ископаемых, то она, в всяком случае, за последние 50 лет не убывала.

Можно продемонстрировать справедливость этих высказываний, положим, на примерах золота, нефти, а также и газа, имея в виду подсчет запасов наивысшей категории [2,3,7]. Кстати, пример с нефтью и газом показывает, что некоторые из переменных, входящих в формулу подсчета запасов, например объемным методом [2,3], определяются с помощью геохимических и геофизических методик, довольно быстро, с большой точностью, хотя и дорого. Не ясно только, зачем мы это делаем? Если даже мы признаем используемые нами формулы точными, то основные погрешности подсчетов запасов нефти и газа, как легко видеть, будут обусловлены показателями извлечения, фактически определяемыми по аналогии (или еще хуже "в соответствии с инструкцией") [2,3,7].

Для того, чтобы дать предварительный ответ на вопрос о том, может ли нас удовлетворить существующая точность подсчета за-

пасов полезных ископаемых, следует в начале сделать ряд замечаний. Можно ограничиться подсчетом геологических запасов полезных ископаемых высшей категории. Нужно считать, что метод подсчета запасов полезных ископаемых включает в себя [1,4]:

во-первых, перечень различных схем получения данных для подсчета запасов,

во-вторых, перечень различных формул для подсчета запасов с инструкциями по определению отдельных переменных, входящих в эти формулы,

в-третьих, классификацию-перечисления скоплений полезных ископаемых (блоков).

Подсчет же запасов полезных ископаемых заключается:

во-первых, в разбиении области подсчета запасов на скопления полезного ископаемого (блоки),

во-вторых, в определении класса, к которому принадлежит фиксированное скопление полезного ископаемого,

в-третьих, в определении для него оптимальной в некотором смысле схемы получения данных для подсчета запасов,

в-четвертых, в выборе для него и для её оптимальной формулы для подсчета запасов,

в-пятых, в определении отдельных параметров, входящих в эту формулу,

в-шестых, в проведении расчетов по этой формуле.

Как можно показать, исходя из [2-4], для всех видов полезных ископаемых у нас пока отсутствуют, например, удовлетворительные перечни различных схем получения данных для подсчета запасов, а также удовлетворительные классификации-перечисления скоплений. Известно, что геологические запасы всех видов полезных ископаемых не могут быть экспериментально измерены. Легко видеть, что различные формулы для подсчета геологических запасов полезных ископаемых являются, по существу различными формальными определениями геологических запасов полезных ископаемых, построенными на основе простейших вещественно-структурных представлений об элемен-

ж)
 тарном объеме горных пород. В связи со сказанным сейчас нет возможности придать ясный смысл тому, что мы называем точностью метода подсчета запасов полезных ископаемых. Сейчас принято говорить о точности подсчета запасов всех видов полезных ископаемых на основании сопоставления вычисленных запасов (которые, как правило, несколько раз перевычисляются) и извлеченных запасов (которые существенно зависят от технологии извлечения). Каких-либо обстоятельных исследований по такому сопоставлению нам обнаружить не удалось. Не ясно также, как можно было бы провести такое сопоставление на основе данных, имеющихся в ГКЗ СССР. Те же расчеты, которые были проведены нами по золоту, показывают, что это совпадение оставляет желать лучшего, хотя и показывает, что мы, в первом приближении, одинаково часто занижаем и завышаем запасы. По-видимому, такого совпадения и не должно быть. Геологический запас следует считать лишь "эффективным" критерием для принятия решений [5], тривиальным решающим правилом вида: $Q = P x_1, Q \geq Q_0, Q < Q_0$, которым пользуются эксперты. (Это геологический "Эфир").

Если исходить из характерных особенностей существующих методов подсчета запасов полезных ископаемых, то, по-видимому, следует считать, что существующая точность подсчета запасов не может нас удовлетворить. Если же учесть, что подсчет запасов полезных ископаемых не является для нас самоцелью, а проводится для целей геолого-экономической оценки месторождений и, кроме того, учесть характерные особенности существующих методов этой оценки [1,7], то существующую точность подсчета запасов полезных ископаемых можно признать удовлетворительной. Однако следует считать, что подсчет запасов полезных ископаемых является экспертизой на основе некоторых расчетных данных, полученных эмпирически.

По-видимому, той точности подсчета запасов полезных ископаемых, которая сейчас существует, можно добиться гораздо быстрее и дешевле, чем это имеет место сейчас, опираясь на

*) Формула $y = f(x)$ может быть: (а) выведена из каких-либо других формул, (в) получена за счет аппроксимации экспериментальных данных, (с) записана на основании некоторых соображений. В случае (с) она называется формальным определением y через x , если y не может быть экспериментально замерена, минуя измерение x .

меры сходства между месторождениями и существующие подходы к обработке данных экспертных оценок.

Имея ввиду применение математических методов и ЭВМ при подсчете запасов полезных ископаемых, как нам кажется, сейчас следует, в первую очередь, стремиться к повышению точности подсчета запасов, во вторую очередь, пытаться повысить скорость подсчета запасов и, только в третью очередь, заботиться о снижении стоимости подсчета запасов. С таких позиций пока эффективность применения математических методов и ЭВМ при подсчете запасов полезных ископаемых нельзя считать высокой. Обычно при построении автоматизированных систем подсчета запасов полезных ископаемых надеются оправдать расходы, представив возможность перебора многих вариантов подсчета. По-видимому, эти оправдания мало привлекательны.

По-видимому, в ближайшее время мы вынуждены будем признать, что подсчет запасов полезных ископаемых есть особый вид экспертных оценок, опирающийся на эмпирически установленные и специальным образом рассчитываемые данные. Главная роль здесь принадлежит эксперту, а не расчетчику. Нельзя совершенствовать способы расчета данных без учета мнений и возможностей эксперта. Именно это давно утверждается рядом ведущих специалистов по подсчету запасов полезных ископаемых, например, И.Д. Коганом в [4]. Если признать этот факт, а в нем нет ничего зазорного для нас, то следует признать, что в вопросах применения математических методов и ЭВМ при подсчете запасов полезных ископаемых мы явно двигались и двигаемся не в ту сторону. Кроме того, следует решить, что же мы все-таки хотим: усовершенствовать экспертизу или перейти к математической оценке запасов полезных ископаемых?

По-видимому, причины малой эффективности применения математических методов и ЭВМ при подсчете запасов полезных ископаемых обусловлены допущенными нами методологическими ошибками. Эти ошибки, в частности, таковы:

(о) Ошибочная интерпретация смысла существующей технологии подсчета запасов как процедуры вычисления некоторой математической характеристики (например, интеграла), которая фактически есть процедура экспертной оценки.

(I) Отсутствие системного подхода к подсчету запасов:

подсчет запасов рассматривался изолированно, без должного анализа всей задачи геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых, из которого, в частности, вытекает неравноценность ошибок завышения и занижения запасов полезных ископаемых для мелких, средних и крупных месторождений [1].

(2) Изолированное рассмотрение вопросов получения данных для подсчета запасов и самого подсчета запасов, очень узкое понимание метода подсчета запасов.

(3) Некритическое использование существующей технологии подсчета запасов: подсчет запасов строился без разработки математической постановки задачи подсчета, на основе традиции и подражания действиям опытных геологов.

(4) Использование административного подхода к формулировке целей: в первую очередь стремились повысить скорость и понизить стоимость подсчета запасов, а не точность подсчета (до сих пор подсчет запасов на ЭВМ характеризуют сравнением результатов, полученных на ЭВМ и без ЭВМ).

(5) Отсутствие специальных исследований для получения надежных экспериментальных данных для разработки подходящей технологии подсчета запасов на полигонах и математических моделях.

Кроме того, значительную роль сыграли и ошибки научно-организационного плана.

9. Если поставить своей целью не совершенствование экспертных оценок, а переход к математической оценке запасов полезных ископаемых, то можно убедиться, что на основе существующей технологии подсчета запасов полезных ископаемых нельзя добиться этой цели. Необходимо искать новые подходы к подсчету запасов. В основе существующего подхода к подсчету лежит понятие геологического запаса полезных ископаемых. От геологических запасов к извлекаемым запасам полезных ископаемых переходят с помощью коэффициентов извлечения. Как уже неоднократно отмечалось нами [1], такой переход к определению извлекаемых запасов полезных ископаемых не является единственно возможным, их можно определять и не используя понятие геологического запаса полезных ископаемых. Представляется необходимым детально исследовать такую возможность.

10. Пусть G — область скопления полезного ископаемого.

Без ущерба для общности можно считать, что $Q(G)$ — геологические запасы полезного ископаемого в G определяются сейчас так:

$$Q(G) \equiv \int_G \rho(x, y, z) dv, \quad (1)$$

где $\rho(x, y, z)$ — плотность запасов полезных ископаемых в точке x, y, z внутри G . (Иногда подсчет запасов толкуют как построение $\rho(x, y, z)$). На основании простейших вещественно-структурных представлений об элементарном объеме горной породы, содержащим точку x, y, z , $\rho(x, y, z)$ представляют в виде:

$$\rho(x, y, z) = \prod_{i=1}^h \sigma_i(x, y, z). \quad (2)$$

Используя соображения о среднем, записывают

$$Q(G) = \prod_{i=1}^h \bar{\sigma}_i(G) \cdot V(G) [1 + o(\prod_{i=1}^h \bar{\sigma}_i(G))], \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_i(G)$ — средние значения $\sigma_i(x, y, z)$ в G , а $V(G)$ — объем G . Опять-таки, без ущерба для общности, можно считать, что

$$\bar{\sigma}_i(G) = \frac{1}{V(G)} \int_G \sigma_i(x, y, z) dv. \quad (4)$$

Для вычисления $\bar{\sigma}_i(G)$ необходимо:

во-первых, выбрать вид функции $\sigma_i = f_i(x, y, z, \vec{A})$,

во-вторых, выбрать множество точек измерения $f_i(x, y, z, \vec{A})$,

в-третьих, выбрать критерий для оценки параметров \vec{A} функции $f_i(x, y, z, \vec{A})$,

в-четвертых, оценить параметры \vec{A} функции $f_i(x, y, z, \vec{A})$,

в-пятых, вычислить $\bar{\sigma}_i(G)$.

Учитывая, что у нас отсутствуют экспериментальные возможности определения $\bar{\sigma}_1(G)$, неизвестно, на каких основаниях можно однозначно провести такой выбор, о котором речь шла выше, неизвестно, как можно обоснованно провести сопоставление двух возможных выборов (особенно, если учесть, что приходится ограничиваться очень малым числом точек измерения). Эти трудности носят принципиальный характер и они, конечно, не могут быть сняты, если все предыдущие мы будем толковать с любых вероятностных позиций. (Следует считать, что детерминированный подход к запасам является простым подходом, когда запас описывается одним числом, а вероятностный подход к запасам является сложным подходом, когда запас описывается последовательностью чисел, характеристиками распределения. Всегда, когда возможен второй подход, возможен и первый. Обратное неверно. Нельзя разумно реализовать второй, не реализовав первый подход).

По-видимому, отмеченные выше трудности имеют место всегда, когда речь идет об определении средних характеристик очень больших областей при условии, что эти характеристики определяются для очень малых частей этих областей на основе физико-химических представлений. Можно думать, что эти принципиальные трудности диктуют отказ от такого подхода к описанию очень больших областей. Именно по этим причинам понятие геологических запасов полезных ископаемых представляется подозрительным.

Обозначим через $\vec{B}(G)$ и $\vec{C}(G)$ некоторые вектора, описывающие G . Зафиксируем для любой части G технологию извлечения полезного ископаемого $\vec{T}(G)$. Обозначим через $\alpha(\vec{T}, \vec{C})$ стоимость извлечения единицы полезного ископаемого для любой части G . Тогда запас полезного ископаемого, извлекаемого из G технологией \vec{T} , можно определить так:

$$Q(G, \vec{T}, \vec{C}) \equiv \int_G \rho(x, y, z, \vec{T}, \vec{C}) dv, \quad (5)$$

где $\rho(x, y, z, \vec{T}, \vec{C})$ имеет очевидный смысл. Используя соображения о среднем, получим:

$$Q(G, \vec{T}, \vec{C}) = \bar{\rho}(\vec{T}, \vec{C}) \cdot V(G). \quad (6)$$

Пусть G_1, G_2, \dots, G_n множество скоплений полезного ископаемого, которым отвечают одни и те же вектора $\vec{V}(G)$.

Положим, что они были выработаны технологией \vec{T} , и мы имеем экспериментальные данные:

$$Q(G_i, \vec{T}_i, \vec{C}_i), V(G_i), i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Тогда для отыскания функции $\bar{\rho}(\vec{T}, \vec{C}_i)$ мы получим такие данные:

$$\bar{\rho}(\vec{T}, \vec{C}_i) = \frac{Q(G_i, \vec{T}, \vec{C}_i)}{V(G_i)}, \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Пусть нам удалось на основе таких данных построить функцию

$$\bar{\rho}(\vec{T}, \vec{C}), \vec{T} = \vec{T}^1, \vec{T}^2, \dots, \vec{T}^e, \vec{C} = \vec{C}_1, \vec{C}_2, \dots, \vec{C}_m.$$

Предположим теперь, что речь идет о подсчете запасов полезных ископаемых скопления G_0 . Определим $\vec{V}(G_0)$ и $\vec{C}(G_0)$. Обозначим через $\vec{T}^1(G_0), \vec{T}^2(G_0), \dots, \vec{T}^p(G_0)$ все возможные технологии извлечения полезного ископаемого из G_0 , которые имеются в нашем распоряжении. Тогда задача подсчета запасов в G_0 может быть сформулирована так:

Найти такую $\vec{T}^s(G_0)$, для которой $\alpha(\vec{T}^s(G_0), \vec{C}(\sigma_0)) \leq \alpha_0$ и $Q(G_0, \vec{T}^s, \vec{C}_0)$ максимальна, а также вычислить $V(G_0)$ и $Q(G_0, \vec{T}^s, \vec{C}_0)$.

Такие запасы можно рассматривать как эффективно извлекаемые. Обозначим через $T^T(G_0)$ такую технологию извлечения, для которой $Q(G_0, \vec{T}^T, \vec{C}_0)$ максимальна. Такие запасы можно рассматривать как извлекаемые. Если считать, что $\vec{T}^T(G_0)$ является наилучшей из возможных в смысле извлечения, то эти запасы можно рассматривать как геологические.

Из предыдущего следует, что геологические запасы должны определяться через извлекаемые, а не наоборот. Кроме того, из предыдущего вытекает, что задача подсчета запасов состоит, прежде всего, в определении оптимальной технологии извлечения, является задачей на условный экстремум. (Если не считать, что все возможные и доступные технологий извлечения одинаковы по α и Q). Эта задача имеет смысл только при наличии надлежащим образом полученных и обработанных экспериментальных данных. Именно они определяют точность подсчета запасов полезных ископаемых, формульную точность. В связи с тем, что со временем число отработанных скоплений полезных ископаемых и число имеющихся в нашем распоряжении технологий извлечения возрастает, эти экспериментальные данные должны со временем пересчитываться. Такой пересчет возможен только при определенном описании областей применимости технологий извлечения полезных ископаемых, при известных отношениях между ними по Q и α .

В сказанном и состоит основной результат. Он показывает, что имеется возможность построить нужный новый подход к подсчету запасов полезных ископаемых.

II. Подход, использованный нами, является макроподходом, в то время как известный подход является микроподходом. Если сравнить формулы (3) и (6), то легко увидеть их сходство и различие. Если формула (3) есть результат записи наших представлений об элементарном объеме горных пород, то формула (8) есть результат аппроксимации экспериментальных данных.

Важно отметить, что при построении функции $\bar{\rho}(\vec{T}, \vec{C})$ по данным (8), разумеется, можно использовать любые вещественно-структурные представления об элементарном объеме горных пород, находясь уже под контролем экспериментальных данных. При старом подходе используются только те экспериментальные данные, кото-

рые относятся лишь к частям рассматриваемого скопления и скоплений, рассматриваемых ранее. При новом подходе используются и те экспериментальные данные, которые отвечают целиком рассматриваемому скоплению и скоплениям, которые рассматривались ранее. Заметим, что в старом и новом подходе вопросы определения "объема" решаются одинаково, разница в решении вопросов о "среднем содержании полезного ископаемого".

Следует подчеркнуть, что при использовании такого нового подхода к подсчету запасов полезных ископаемых, границы скопления полезного ископаемого должны определяться, прежде всего, с учетом экспериментальных возможностей, а не нашего желания оптимизации по Q и α , для их определения нельзя опираться только на $\rho(x, y, z, \vec{T}, \vec{C})$. Таким образом, этот подход приводит к иному представлению относительно границ месторождений полезных ископаемых и их скоплений (блоках), к иному представлению об использовании при подсчете запасов геохимических и геофизических методов. Границы должны определяться с учетом не только желания (кондиций), но и возможностей (геохимических и геофизических данных). Только при этих условиях можно считать запасы.

12. Для того, чтобы уяснить эмпирическое различие между старым и новым подходом к подсчету запасов полезных ископаемых, выяснить, имеет ли смысл ломать установившиеся взгляды и технологию подсчета запасов, необходимы, как нам представляется, численные эксперименты. Всегда следует помнить, что наука — это игра с природой против лиц, охраняющих научные традиции. Экспериментальный материал для таких экспериментов можно получить моделированием на ЭВМ. Можно убедиться, что такой материал необходим и для разработки АС по подсчету запасов.

Необходимо заметить, что реализация нового подхода на практике сейчас встречается с двумя серьезными препятствиями: во-первых, отсутствуют готовые рецепты для построения векторов \vec{B} и \vec{C} , во-вторых, отсутствуют надлежащие экспериментальные данные. Таким образом, пока оснований для перехода к новой технологии подсчета запасов полезных ископаемых в практической деятельности нет.

Рассмотрим кратко возможности моделирования на ЭВМ двумерных скоплений полезных ископаемых.

(1) Моделирование формы. В координатах $ХОУ$ возьмем единичный квадрат и построим, положим, 100 прямых, параллельных оси $ОУ$. Для каждой из прямых $x = x_i$ выберем, случайным образом, из промежутка $(0.1]$ числа n_i и m_i с точностью до 10^{-2} . Фиксируем на каждой из таких прямых отрезки длиной m_i , центр которых имеет координаты (x_i, y_i) , $y_i = n_i$. Отметим концы интервалов этих отрезков, лежащих внутри единичного квадрата. Соединив эти концы ломаной получим плоскую фигуру некоторой формы.

(2) Моделирование размера. Перейдем от системы координат $ХОУ$ к системе координат $Х'ОУ'$ так $x' = \lambda x$, $y' = \lambda y$, где $\lambda = 10^2 \cdot \lambda_0$, а λ_0 число выбираемое случайным образом из промежутка $(0.1]$. Получим плоскую фигуру некоторой формы и некоторого размера.

(3) Моделирование содержания. Построим локальную систему координат $ХОУ$, жестко связанную с плоской фигурой по правилам, которые неоднократно обсуждались. Построим прямые, параллельные осям $ОХ$ и $ОУ$, положим, через интервал 0.01 . В узлах, образованных пересечением этих прямых, лежащих внутри плоской фигуры, зададим содержание полезного ископаемого $\rho(x_i, y_k)$, выбирая случайным образом число ρ_{ik} из промежутка $(0.1]$ так, чтобы разность значений в соседних узлах по модулю не превышала заданной константы c .

(4) Моделирование окраски. Каждый из интервалов, полученных в (1), окрасим в один из L цветов, разбив промежуток $(0.1]$ на L промежутков и выбирая случайным образом из промежутка $(0.1]$ число l_k (Известно, что по набору значений различных свойств, определенных в точке, можно поставить в однооднозначное соответствие одно число, определенное в точке [1]).

(5) Моделирование технологии извлечения. Для каждого из L цветов и среднего содержания по цвету зададим перечень возможных технологий, приписав каждой из них коэффициент извлечения и стоимость извлечения единицы.

Будем считать, что для подсчета запасов полезного ископа-

емого мы имеем возможность выбирать в произвольной системе координат xy сеть, образованную прямыми, параллельными осям координат, с расстояниями между прямыми большими чем $0,1$. В узлах этой сети будем считать заданным способ определения содержания полезного ископаемого ρ и цвета l .

14. Следует полагать, что для эффективного использования ЭВМ для подсчета запасов полезных ископаемых необходима подходящая стратегия и тактика использования возможностей ЭВМ. По-видимому, для эффективного использования ЭВМ при подсчете запасов следует ориентироваться на АС диалогового типа. Она должна включать в себя АС получения описания скоплений полезного ископаемого и ИЛС, о которой уже неоднократно говорилось [1]. Эта АС должна строиться независимо от вида полезного ископаемого и типа его скопления. Первоначально она должна строиться как инструмент для отработки методов подсчета запасов полезных ископаемых, как инструмент для построения АС, отвечающих конкретным видам полезных ископаемых и конкретным типам их скопления. Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с построением аван-проекта такой АС для подсчета запасов полезных ископаемых.

15. Если речь идет о приготовлении плова, то обычно человек ставит перед собой такую последовательность вопросов: где достать барана?, где достать рис и приправы?, как приготовить плов при данном обеспечении? и т. д. Если же этот человек будет считать себя ученым, то он вынужден будет ставить перед собой такую последовательность вопросов: что такое плов?, какие два плова сравнимы и как из двух пловов выбрать лучший?, как приготовить наилучший плов при полном обеспечении? и т. д. Вопросы же о баране, рисе и приправе он вообще исключит из своей компетенции. Это печально, но такова специфика научных методов. К научным методам приготовления плова пришлось прибегнуть, если бы эта операция была связана с достаточно большими затратами средств и времени, с достаточно большим риском и для ее проведения необходимо было участие большего коллектива людей. Именно эти обстоятельства имеют место, когда речь идет о построении АС подсчета запасов полезных ископаемых. Итак, что такое АС подсчета запасов? Какие две АС подсчета запасов сравнимы и как из двух АС под-

счета запасов выбрать лучшую? Как построить наилучшую АС подсчета запасов полезных ископаемых при полном обеспечении?

16 Попытаемся вначале уточнить в чем должен состоять способ подсчета запасов полезных ископаемых на ЭВМ. По-видимому, он должен содержать:

(I) Геологическую трактовку подсчета запасов, содержащую разбиение подсчета запасов на отдельные формальные задачи подсчета запасов.

(2). Математическую постановку отдельных задач подсчета запасов.

(3). Описание алгоритмов решения отдельных задач подсчета запасов.

(4). Описание алгоритма подсчета запасов.

(5). Исследование алгоритмов решения отдельных задач подсчета запасов.

(6). Исследование алгоритма подсчета запасов.

(7). Комплексы программ для решения отдельных задач подсчета запасов.

(8). Комплекс программ для подсчета запасов.

(9). Исследование и оценку комплексов программ для решения отдельных задач подсчета запасов на модельном материале.

(10). Исследование и оценку комплекса программ для подсчета запасов на модельном материале.

(II). Опытную проверку и оценку комплекса программ для подсчета запасов на экспериментальном материале в производственных условиях.

(12). Руководство по использованию комплекса программ для подсчета запасов.

По-видимому, следует считать, что АС подсчета запасов полезных ископаемых должна представлять собой способ подсчета запасов, отвечающий различным геологическим трактовкам подсчета запасов полезных ископаемых.

Две АС подсчета запасов полезных ископаемых следует сравнивать, прежде всего, по используемым в них геологическим трактовкам подсчета. Они могут конкурировать и поглащать одна другую, конкурировать друг с другом, частично конкурировать и дополнять друг друга.

Две АС подсчета запасов полезных ископаемых можно сравнить по качеству только фиксируя геологическую трактовку подсчета запасов. Такое сравнение следует проводить вначале на основе (9) и (10) по точности, скорости и цене подсчета запасов, затем по (12), по простоте использования.

Следует договориться о разделении ответственности между геологами, математиками и программистами при работе над (1)-(12). Уточнить, какой должна быть наилучшая АС подсчета запасов полезных ископаемых. Ясно, что строить её можно только от примитива к примитиву [1].

17. В заключение сделаем несколько замечаний о категориях запасов полезных ископаемых. Вопрос о категоричности запасов имеет длительную историю [5]. Нами был проведен анализ известных работ по этому вопросу для нефти и газа по схеме:

(1). Наименование категорий запасов. (2). Определение категорий запасов. (3). Назначение категорий запасов. (4). Объекты подсчета категорий запасов. (5). Исходные данные для подсчета категорий запасов. (6). Способы подсчета категорий запасов. (7). Точность определения количества запасов по категориям. (8). Учет качества запасов по категориям. (9). Точность определения расположения запасов по категориям. (10). История введения категорий запасов. (11). Возможности пересчета из категории в категорию.

По-видимому, определения категорий запасов полезных ископаемых, опирающиеся на представления о степени подготовленности, разведанности, изученности и пр., не выдерживают серьезной критики и не могут быть усовершенствованы [5]. Введение категорий запасов полезных ископаемых обусловлено, видимо, двумя целями: построением тривиальных одномерных правил для оценивания перспективности [6] и построением простых критериев оценки поисково-разведочных работ. Первая цель может быть значительно эффективнее достигнута за счет известных алгоритмов распознавания (это открывает более широкие перспективы для геофизики и геохимии). Вторая же цель может быть достигнута на основе идей, выдвинутых еще в [5]. Например.

При подсчете запасов область подсчета разбивается на скопления. Пусть G_0 - область подсчета запасов, $V(G_0)$ - её объем, G_1 - скопления, Q_1 - запасы в G_1 , $V(G_1)$ - объем G_1 ,

$\left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)_i$ - относительная погрешность определения запасов в G_i ,

t_i - относительная стоимость единицы запаса в G_i . Рассмотрим показатели:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q}\right] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)_i \cdot \left[\frac{Q_i}{Q}\right] \cdot t_i, \quad (9)$$

$$\left[\frac{\Delta V}{V}\right] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{V}\right) \cdot \left[\frac{Q_i}{Q}\right] \cdot t_i, \quad (10)$$

где $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$. Как можно убедиться, (9) можно использо-

вать как критерий оценки относительной погрешности определения количества полезного ископаемого, а (10) - как критерий погрешности определения расположения полезного ископаемого. На основе (9) и (10) можно ввести корректные категории запасов полезного ископаемого. Эти же критерии можно использовать, с учетом затрат, для оценки деятельности экспедиций - "исполнителей", а критерий прироста запасов следует использовать как критерий деятельности объединений - "руководителей". Это показывает, что можно построить и качественно новый подход к определению категорий запасов полезного ископаемого и оценки деятельности "исполнителей" и "руководителей".

Л и т е р а т у р а

1. ВОРОНИН Ю.А., ЖИГАРЛОВСКИЙ И.В., КУСОВ А.Р. и др. Теоретические вопросы, связанные с применением математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. - Сб. Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Тр. ВЦ СО АН СССР. Новосибирск, 1972.

2. ГРИШИН Ф.А. Оценка разведанных запасов нефти и газа. М., "Недра", 1969.
3. ЖДАНОВ М.А., ЛИСУНОВ В.Р., ГРИШИН Ф.А. Методика и практика подсчета запасов нефти и газа. М., "Недра", 1967.
4. КОГАН И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка редких месторождений. М., "Недра", 1974.
5. КРЕЙТЕР В.М. Основные принципы классификации и подсчета запасов полезных ископаемых. Из-во АН СССР М., 1937.
6. ШПИЛЬМАН К.Н. Обзор методик подсчета прогнозных запасов.- Сб. Методика оценки прогнозных и перспективных запасов и обоснование подсчетных параметров.- Тр. Зап. Сиб. НИГНИ, вып. 53, Тюмень, 1972.
7. ПОГРЕБЕЦКИЙ В.О., ТЕРНОВОЙ В.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Л., "Недра", 1974.

М. Ванечек, О. Плушал, М. Рене

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ЧЕХОСЛОВАКИИ

В последние годы в геологии получило широкое развитие применение математических методов при решении различного рода проблем, особенно проблемы подсчета запасов полезных ископаемых. Говоря о применении математических методов в проблеме подсчета запасов, следует иметь в виду, что речь идет не столько об использовании каких-либо расчетных формул, сколько о всех исследованиях, связанных с анализом объектов подсчета и выбором средств их рационального использования. Поэтому использование математических методов обусловлено необходимостью получения новых сведений (особенно сведений по точности определения вычисляемых данных, о соотношениях и связях подсчитанных параметров) и обеспечивает более высокие качества подсчета запасов как с точки зрения его содержания, так и в формальном отношении.

Вначале применение математических методов, используемых при подсчете запасов, происходило стихийно на основе самой разнообразной счетно-решающей техники. С развитием этой техники произошло некоторое объединение, касающееся составления программ, языка программ и пр. Однако, подход отдельных авто-

ров к основным принципам использованных математических методов оставался и в дальнейшем различным. Это обстоятельство являлось одной из главных причин, которая привела чехословацкую комиссию по классификации запасов к необходимости издания инструкции, которая определяет основные способы подхода и содержит также методические указания, связанные с использованием современной счетно-решающей техники.

Основным условием использования математических методов при подсчете запасов является, согласно этому документу, удовлетворительный объем, качество и структура исходных данных. При обсуждении качества необходимо различать две различных стороны, первая из которых содержит качественные различия с точки зрения вероятности и точности получаемых данных, другая — с точки зрения удовлетворительности для правильного выражения данного свойства.

Используемые математические методы должны быть с точки зрения содержания и формально достаточно точно определены и должны полностью учитывать геологическую сущность и все другие известные данные о месторождении, включая взаимоотношения важнейших свойств месторождения. Применение математических методов должно быть с точки зрения содержания и формальной изложено таким образом, чтобы дать возможность воспроизвести ход подсчета независимо от его авторов. При использовании принятых алгоритмов необходимо обосновать применение их от отдельных принципов или на основании данных подсчитываемого месторождения, или с помощью аналогии с месторождением, на котором применение данного алгоритма было проверено. Если, вследствие использования математических методов, в подсчет вводятся поправочные или другие коэффициенты, необходимо привести их вывод и дать полную характеристику целесообразности их применения.

На основании анализа, проведенного авторами инструкции, можно рекомендовать следующие возможности применения математических методов:

- а) установление параметров основной формы подсчета, включая выражение наиболее вероятных лимитов этого установления;
- б) характеристика распределения полезного компонента в

контурах единиц подсчета (блоков, рудных тел и пр.);

в) решение проблем интерполяции и экстраполяции исходных данных;

г) конструкция и описание модели месторождения или моделей важнейших параметров и свойств месторождения;

д) сравнение данных, полученных в результате эксплуатации месторождения с результатами подсчета запасов.

Однако необходимо подчеркнуть, что применение математических методов всегда связано с необходимостью учета определенных правил, условий и взаимоотношений, вытекающих как из сущности исследуемых объектов и явлений, так и из сущности используемого метода. Теоретические исследования и практика подтвердили, что при применении математических, особенно статистических, методов необходимым условием является достаточный объем исходных данных, особенно тогда, когда у получаемых выводов, включая классификации и производные данные, требуется доказательство о их действительности.

В настоящее время многими авторами подсчет запасов полезных ископаемых связывается с понятием модели. В ряде случаев, однако, применение этого понятия не соответствует его верному значению. Здесь необходимо осознать, что модель является всегда упрощенным, но целеустремленным выражением действительности, независимо от того, рассматривать ее с точки зрения описания, изображения или масштаба. Одной из наиболее важных причин применения понятия модели в области подсчета запасов является все возрастающее давление промышленности на получение самого близкого действительности комплекса необходимых данных и информации о месторождении. Сюда входят также определения пределов, в которых колеблется приближение действительности, при помощи модели, далее возможности сравнения подсчетов разных месторождений между собой или сравнения подсчетов, при которых на одном и том же месторождении использовались разные методы.

С точки зрения применения математических методов наиболее приемлемой формой модели являются при подсчете запасов аналитические функции. Однако до сих пор неизвестны или не описаны правила или закономерности распределения элементов зем-

ной коры так, чтобы их можно было выразить однозначно при помощи таких функций. Поэтому и модели подсчета запасов, обозначаемые в качестве математических, не могут избежать выводов об их вероятности. Этим самым подчеркивается то обстоятельство, что подсчет запасов является только лишь приблизительной оценкой действительности. Эта оценка поэтому обязательно должна сопровождаться также выражением точности оценки. Поэтому характеристики точности подсчета являются также критерием правильности и возможности применения понятия модели в связи с подсчетом запасов.

В Чехословацкой инструкции также точно приводятся условия применения счетно-решающих устройств. Каждый подсчет запасов, произведенный при помощи счетно-решающих устройств, должен в методическом описании содержать в основном следующие данные:

- а) тип счетно-решающего устройства с коротким описанием конфигурации и операционной системы;
- б) схему хода подсчета;
- в) блоктовую схему программы;
- г) описание программы, ее обслуживания, языка и места хранения;
- д) описание исходных данных;
- е) описание полученных данных;
- ж) при использовании данных из подготовленной информационной системы (банка данных) ее описание и описание применяемых систем программ.

Далее необходимо обеспечить действенный контроль манипуляции с исходными данными. Однозначно должны формулироваться условия и ход операции, чтобы дать возможность их воспроизводимости независимо от авторов подсчета. Записи о ходе подсчета, сделанные при помощи счетно-решающего устройства также должны давать возможность контроля их правильности. Наконец, в подсчете запасов должен быть приведен способ проверки правильности работы счетно-решающего устройства в ходе подсчета запасов.

Чехословацкая инструкция по применению математических методов при расчете запасов полезных ископаемых, в составлении

которой принимали участие авторы настоящей статьи, является важным шагом в деле правильного применения математических методов в геологии. Можно предполагать, что она в будущем положительно повлияет на усовершенствование качества этих подсчетов и приведет позже к возникновению более совершенной инструкции.

МЕТОДЫ ИСПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО
ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

В.И. Кузьмин

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И МЕТОДИКИ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ЗАПАСОВ

Подсчет запасов является важной и ответственной геолого-экономической и математической задачей, завершающей детальную разведку и промышленную оценку любого месторождения. Точность оценок запасов и их параметров зависит не только от детальности разведочных работ и качества исходной информации, но и от того, какие формулы применяются для их вычисления.

Состоявшееся в сентябре 1974 года заседание ЭТС ГКЗ СССР рассмотрело вопрос о мерах по дальнейшему повышению достоверности запасов полезных ископаемых и разработало ряд конкретных мероприятий. В частности, в решении ГКЗ в числе основных причин неподтверждения запасов отмечаются методические ошибки, допускаемые при подсчетах.

Ниже рассматриваются некоторые вопросы теории и методики эффективных оценок параметров запасов.

I. Эффективное применение средневзвешенных и среднеарифметических оценок в слабокоррелированных двумерных совокупностях

Под параметрами запасов будем понимать истинные

значения среднего содержания компонента $c_{уст}$, средней мощности рудного тела $m_{уст}$, среднего объемного веса руды $d_{уст}$.

Параметры запасов по своей физической сущности являются двумерными или многомерными величинами. Действительно, если объем рудного тела разбить на элементарные призмы с объемами V_i и для каждой призмы определить весовое количество металла P_i и руды Q_i , среднее содержание компонента c_i , средний объемный вес руды d_i , среднюю мощность рудного тела m_i и площадь основания призмы s_i ^ж, то

$$c_{уст} = \frac{P_{уст}}{Q_{уст}} = \frac{1}{N} \frac{\sum P_i}{\sum Q_i} = \frac{1}{N} \frac{\sum Q_i c_i}{\sum Q_i} = \frac{1}{N} \frac{\sum V_i d_i c_i}{\sum V_i d_i} = \frac{1}{N} \frac{\sum s_i m_i d_i c_i}{\sum s_i m_i d_i} \quad (1)$$

$$m_{уст} = \frac{V_{уст}}{s_{уст}} = \frac{1}{N} \frac{\sum s_i m_i}{\sum s_i}, \quad (2)$$

$$d_{уст} = \frac{Q_{уст}}{V_{уст}} = \frac{1}{N} \frac{\sum V_i d_i}{\sum V_i} = \frac{1}{N} \frac{\sum s_i m_i d_i}{\sum s_i m_i}, \quad (3)$$

где $V_{уст}$ - истинное значение рассматриваемого объема рудного тела; $s_{уст}$ - площадь проекции области $V_{уст}$; $P_{уст}$, $Q_{уст}$ - истинные запасы компонента и руды в объеме $V_{уст}$.

Формулы (1), (2), (3) определяют параметры запасов только в случае сплошного опробования всего рудного тела, т.е. если $\sum_{i=1}^N V_i = V_{уст}$. В остальных случаях они позволяют получать лишь оценки параметров. Последнее обстоятельство не всегда

^ж) Площадь распространения промышленной минерализации как параметр запасов в дальнейшем не рассматривается.

четко формулируется в литературе, и вполне естественным считается, что соответствующая многомерная (средневзвешенная) оценка параметра всегда точнее его средней арифметической оценки.

Средневзвешенные оценки параметров

$$c_{вз} = \frac{\sum_1^n Q_1 c_1}{\sum_1^n Q_1}, \quad c'_{вз} = \frac{\sum_1^n V_1 d_1 c_1}{\sum_1^n V_1 d_1}, \quad c''_{вз} = \frac{\sum_1^n s_1 m_1 d_1 c_1}{\sum_1^n s_1 m_1 d_1},$$

$$m_{вз} = \frac{\sum_1^n s_1 m_1}{\sum_1^n s_1}, \quad d_{вз} = \frac{\sum_1^n V_1 d_1}{\sum_1^n V_1}, \quad d'_{вз} = \frac{\sum_1^n s_1 m_1 d_1}{\sum_1^n s_1 m_1}$$

являются состоятельными и несмещенными [II]. Однако не во всех случаях они являются наиболее эффективными и, следовательно, более точными.

Обозначим для удобства содержание компонента через X , мощность рудного тела через Y и рассмотрим оценки

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n x_1}{n}, \quad X_{вз} = \frac{\sum_1^n x_1 y_1}{\sum_1^n y_1}.$$

Как показано в работе [II], зависимость между оценками $X_{вз}$ и \bar{X} имеет вид

$$X_{вз} = \bar{X}(1 + \hat{r}_{X,Y} \hat{V}_X \hat{V}_Y), \quad (4)$$

где $\hat{r}_{X,Y}$ - оценка коэффициента корреляции показателей X и Y ;

\hat{V}_X, \hat{V}_Y - оценки коэффициентов вариации.

При предельном переходе ($n \rightarrow \infty$) из (4) следует

$$X_{ист} = M X_{вз} = M \bar{X}(1 + r_{X,Y} V_X V_Y), \quad (5)$$

где $M\bar{X}_{вз}$, $M\bar{X}$ - математические ожидания средневзвешенной и среднеарифметической оценок содержания; $r_{X,Y}$, V_X, V_Y - истинные (генеральные) значения статистик $r_{X,Y}$, V_X, V_Y .

Анализ (5) показывает, что различие между оценками $X_{вз}$ и \bar{X} возрастает с увеличением $|r_{X,Y}|$, V_X, V_Y . Проблема эффективного применения оценок $X_{вз}, \bar{X}$ имеет особое практическое значение на золоторудных, редкометалльных, полиметаллических и других месторождениях, характеризующихся значениями $V_X \geq 1.5$, $V_Y \geq 0.8$, $|r_{X,Y}| \geq 0.15$. При малых значениях V_X, V_Y , $|r_{X,Y}|$ практически безразлично, какой из оценок пользоваться, а при $|r_{X,Y}| > 0.3$ проблема становится тривиальной.

Если через X обозначить какой-либо иной показатель месторождения, а через Y - параметр разведочной сети или показатель, используемый в качестве веса, то (4), (5) можно рассматривать как уравнения, описывающие процесс взвешивания в общем виде.

Из (5) вытекает, что при $r_{X,Y} \rightarrow 0$ $M\bar{X}_{вз} \rightarrow M\bar{X}$, т.е. центры плотностей распределений $f_{\xi}(\bar{X})$, $\varphi_{\eta}(X_{вз})$ стремятся слиться.

Можно показать, что при $r_{X,Y} \geq 0$ дисперсия $\sigma_{X_{вз}}^2$ оценки $X_{вз}$ всегда больше дисперсии $\sigma_{\bar{X}}^2$ оценки \bar{X} . В частности, при

$r_{X,Y} = 0$ имеет место [II] соотношение $\sigma_{X_{вз}} = \sigma_{\bar{X}} \sqrt{1 + V_Y^2}$.

(6) Отсюда следует, что в окрестности точки $r_{X,Y} = 0$ на числовой оси $r_{X,Y}$ оценки $X_{вз}$ будут менее эффективны, чем оценки \bar{X} .

Так, например, при $V_Y = 1(100\%)$ $\sigma_{X_{вз}}^2 = 2\sigma_{\bar{X}}^2$. То

есть, если для достижения заданной точности среднего содержания компонента в условиях $r_{X,Y} = 0$, $V_Y = 1$ при использовании оценки $X_{вз}$ необходимо 100 наблюдений, то та же точность будет достигнута уже при 50 наблюдениях, если применять оценку \bar{X} .

Таким образом, при слабой корреляции показателей X, Y , больших значениях V_Y и малом объеме выборки смещение $|M\bar{X} - X_{ист}|$ оценок \bar{X} оказывается существенно меньше, чем среднее квадратическое отклонение $\sigma_{X_{вз}}$ оценок $X_{вз}$ (рис. I).

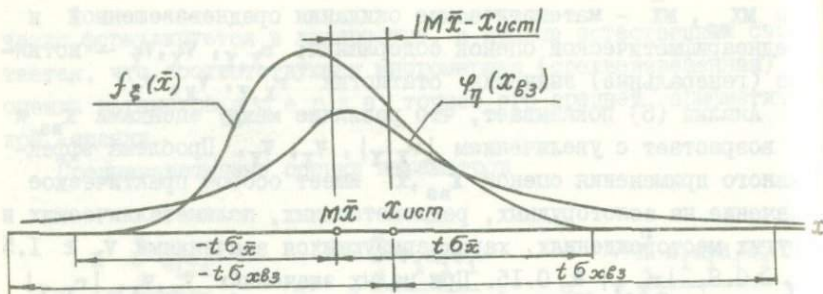


Рис. I

Оценки \bar{X} в этих условиях, естественно, являются более точными.

Из сказанного следует, что на целом ряде месторождений со сложной и изменчивой морфологией рудных тел ($V_Y > 80\%$) и слабой корреляцией содержания компонента с мощностью ($|r_{X,Y}| < 0.10$) при малых объемах разведочной выборки ($n < 30$) более эффективными оценками содержания будут \bar{X} .

С ростом объема выборки дисперсии $\sigma_{X_{вз}}^2$ и $\sigma_{\bar{X}}^2$ уменьшаются, кривые плотности распределений $f_z(\bar{X})$, $\varphi_\eta(X_{вз})$ нормализуются и стягиваются к центрам распределений $M\bar{X}$ и $MX_{вз}$. В связи с этим, начиная с некоторого объема выборки

$$n_0 \geq \frac{t^2 \bar{Y}^2}{\hat{K}_{X,Y}^2} (\hat{\sigma}_{X_{вз}} \sqrt{n} + \hat{\sigma}_X)^2, \quad (7)$$

с вероятностью $\Phi_0(t)$ выполняется неравенство $|\bar{X}_{вз} - X_{ист}| < |\bar{X} - X_{ист}|$, которое показывает, что более эффективными становятся оценки $X_{вз}$. Здесь: $\hat{K}_{X,Y}$ - оценка корреляционного момента; \bar{Y} - оценка среднего значения показателя Y; $\hat{\sigma}_X$ - оценка стандартного отклонения показателя X; $\hat{\sigma}_{X_{вз}}$ - оценка стандартного отклонения $X_{вз}$, вычисляемая по формуле [II]

$$\hat{\sigma}_{X_{вз}} = \frac{1}{\bar{Y}\sqrt{n}} \sqrt{\bar{X}^2 \bar{Y}^2 + X_{вз} (X_{вз} \bar{Y}^2 - 2\bar{X}\bar{Y}^2)}.$$

Объем n_0 будем называть э ф ф е к т и в н ы м.

Для того чтобы при проверке гипотезы $H_0 \{ |X_{вз} - X_{ист}| < |\bar{X} - X_{ист}| \}$ мощность критерия была наибольшей и вероятность совершения ошибки второго рода - наименьшей, необходимо выбирать I тип критической области, соответствующий одностороннему уровню значимости q [15]

$$P(t_q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_q}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5 - \Phi_0(t).$$

Экспериментальные исследования показывают, что при асимметричных распределениях показателей, слабой их корреляции и ограниченных объемах выборки, уровень значимости не следует выбирать менее 15-20%, так как это приводит к снижению мощности критерия. Для $\Phi(t) = 0.5 - 0.15 = 0.35$ $t = I$.

Эффективность применения оценок $X_{вз}$ измеряется вероятностью $P\{|X_{вз} - X_{ист}| < |\bar{X} - X_{ист}|\} = P_n$, которая может быть определена из выражения [11]

$$P_n = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{t^2}{2}} [\Phi(-\alpha - \beta t) - \Phi(-\alpha + \beta t) + \Phi(-\alpha - \gamma t) - \Phi(-\alpha + \gamma t)] dt, (8)$$

где

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

$$\beta = \frac{\frac{\sigma_{X_{вз}} \sqrt{n}}{\sigma_X} + R}{\sqrt{1 - R^2}},$$

$$\alpha = \frac{(MX - X_{ист})\sqrt{n}}{\sigma_X \sqrt{1 - R^2}},$$

$$\gamma = \frac{\frac{\sigma_{X_{вз}} \sqrt{n}}{\sigma_X} - R}{\sqrt{1 - R^2}},$$

$$R = \frac{K_{X,XY} - X_{\text{ист}} K_{X,Y}}{\sigma_X \sqrt{\sigma_{XY}^2 + \sigma_Y^2 X_{\text{ист}}^2} - 2X_{\text{ист}} K_{XY,Y}}$$

Очевидно, вероятность $P_n^1 = 1 - P_n$ характеризует эффективность применения оценок \bar{X} .

Если α, β, γ определить для всей генеральной совокупности, то для выборок объемов n_1, n_2, n_3, \dots из (8) можно получить $P_{n_1}, P_{n_2}, P_{n_3}, \dots$. Вычисления выполняются по методу двумерных цифровых моделей на ЭВМ [12]. Двумерная цифровая модель задается плотностями частных распределений $f(x), \varphi(y)$ двух показателей месторождения (например, мощности и содержания) и коэффициентом корреляции $r_{X,Y}$. Функции $f(x), \varphi(y)$ вводятся в ЭВМ в виде таблиц частных эмпирических распределений, которые составляют по данным опробования и замеров мощности рудного тела.

Составлена программа исследований на двумерных цифровых моделях для ЭВМ "Минск-22".

В результате вычислений получают вероятностные номограммы вида (рис.2). Горизонтальная прямая $P_n = 50\%$ определяет на

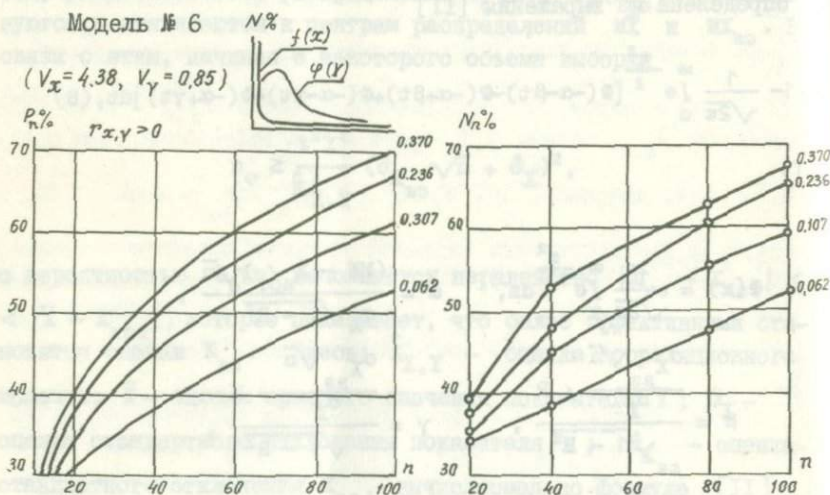


Рис.2

Рис.3

номограмме область "взвешивания" ($P_n > 50\%$) от области, где более эффективными являются оценки \bar{X} .

Из номограммы модели № 6 (золоторудное месторождение $V_X = 438\%$, $V_Y = 85\%$), в частности, видно, что при $r_{X,Y} = 0.062$ для выполнения $P_n > 50\%$ объем выборки должен быть $n > 90$, а при $r_{X,Y} = 0.370$ необходимо, чтобы $n > 35$. При $r_{X,Y} = 0.107$ и $n = 40$ эффективность применения $X_{вз}$ в качестве наилучшей оценки среднего содержания равна 45%, а при $n = 20$ она составляет всего 34%.

На рис.3 приведены графики эмпирической вероятности $N_n = f(n)$. Здесь по оси ординат отложены значения $N_n = \frac{q}{h} 100\%$, где q - число выборок объема n_1 в которых $|X_{вз} - X_{ист}| < |\bar{X} - X_{ист}|$, h - число всех выборок объема n_1 . Из сравнения кривых на рис.2 и 3 можно сделать вывод о хорошем согласии теории с экспериментом.

Эффективные объемы выборки n_0 получаемые по формуле (7) и по номограммам, также хорошо согласуются.

Приведенные выше данные показывают, что существуют довольно широкие условия, при которых более эффективными являются оценки \bar{X} , и проблема выбора в качестве эффективной оценки параметра запасов $X_{вз}$ или \bar{X} при малом объеме разведочной информации и слабой корреляции показателей X, Y на многих рудных месторождениях является очень важной.

В связи с этим подсчет запасов (особенно на ЭВМ) должен включать процедуру выбора оценки. Наиболее надежное решение при выборе эффективной оценки можно получить с помощью вероятностной номограммы, соответствующей модели взвешивания^{*}). При отсутствии номограммы выбор оценки может быть выполнен с помощью критерия

$$t = \frac{|\hat{r}_{X,Y}| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1 - r_{X,Y}^2}}$$

^{*}) Под моделью взвешивания понимается двумерное распределение, заданное плотностями частных распределений $f(x)$, $\varphi(y)$ и коэффициентом корреляции $r_{X,Y}$.

Проверяется гипотеза $H_0(r_{X,Y} = 0)$ при уровне значимости $q \geq 15-20\%$ и $n - 2$ степенях свободы. Если $t > t_{q=20\%}$, то более эффективной можно признать оценку $X_{вз}$.

Если подсчет запасов производится по группе блоков и имеется не менее 10 пар оценок $X_{вз}, X$ одного и того же параметра, то выбор оценки может быть сделан с помощью критериев непараметрической статистики Вилкоксона, Ван дер Вардена [2,15].

2. Определение и ограничение ураганных проб

Несмотря на то, что проблема так называемых ураганных проб (УП) имеет значительную давность и предложено более 20 способов определения и ограничения УП при подсчете запасов, она продолжает оставаться актуальной для практики и теории геологоразведочного дела. Прошедшая в 1969-71 г.г. на страницах журнала "Разведка и охрана недр" дискуссия дала много полезного, но не решила проблемы.

Задача определения и ограничения УП тесно связана с задачей эффективного применения оценок $X_{вз}, X$ поскольку обе они являются частью более общей проблемы минимизации дисперсии оценок среднего содержания или линейных запасов.

Как отмечает А.Б. Каждан в итогах дискуссии [8], до решения проблемы в целом применение тех или иных способов определения и ограничения УП, как приемов страховки от завышения запасов, вполне допустимо.

М.П.Иванов, С.А.Дейнега, В.А.Петров [7] показали, что завышение оценок среднего содержания и запасов далеко не всегда связано с наличием УП в выборке, а ограничение УП теми или иными способами не всегда приближает оценку параметра к его истинному значению.

Исследования наиболее распространенных в практике подсчета запасов способов определения и ограничения УП (способ П.Л.Каллистова, способы 10-ти и 20-процентного влияния УП на среднее содержание компонента по выработке, блоку, горизонту), выполненные на двумерных цифровых моделях и ЭВМ, показывают, что указанные способы обладают низкой эффективностью, что согласуется с данными, приведенными в [7].

На месторождениях, характеризующихся высокими значениями коэффициента вариации содержания ($V_X > 150\%$), при малых

объемах выборок еще до ограничения УП существует большая вероятность занижения среднего содержания компонента, связанная с большой положительной асимметрией распределения данных опробования. При объеме выборки $n \leq 20$ проб величина занижения оценок в зависимости от асимметрии распределения содержания может достигать 30–40% с вероятностью 0.7–0.8. С ростом объема выборки величина и вероятность занижения оценок среднего содержания уменьшаются.

Ограничение УП указанными выше способами увеличивает размер и вероятность занижения среднего содержания. Особенно значительное занижение дает способ 10-процентного влияния УП на оценки.

Выводы отвечают положениям теории вероятностей [14] и подтверждаются данными практики [1, 4]

Если на месторождении существует корреляция содержания компонента с мощностью рудных тел ($t > t_q = 20\%$), то проблема определения и ограничения УП приобретает двумерный характер. В этом случае определению и ограничению подлежат ураганные значения метропроцента или линейного запаса.

Таким образом, в проблеме определения и ограничения УП существуют неразрешимые противоречия. С одной стороны, при очень асимметричных распределениях содержания ($A_x > 0$) в выборках ограниченного объема возможны весьма высокие УП с очень малой вероятностью их появления. С другой стороны, при тех же условиях еще до определения и ограничения УП существует достаточно высокая реальная вероятность занижения оценок \bar{X} или $X_{вз}$, которая возрастает после ограничения УП.

С уменьшением асимметрии A_x распределения данных опробования уменьшается величина возможных УП, но повышается вероятность их появления в выборках ограниченного объема. Одновременно уменьшается и вероятность занижения оценок $\bar{X}, X_{вз}$ по выборкам малого объема.

Решить задачу так, чтобы в любой выборке данного объема выполнялось условие минимизации дисперсии оценки, невозможно в силу случайного характера величины и знака уклонений оценок от математического ожидания. В связи с этим большое практическое значение имеет такое решение, при котором после ограничения УП занижение оценок среднего содержания не превышало

бы заданной величины с определенной вероятностью.

В такой постановке проблема определения и ограничения УП приобретает вероятностный характер и принципиально отличается от тех постановок и решений, которые имеются в литературе.

Решение поставленной задачи может быть выполнено на основе применения метода цифровых моделей и ЭВМ. Исследования на моделях различных способов определения и ограничения УП позволяют установить эффективность этих способов и построить эмпирические распределения погрешностей оценок $\bar{X}, X_{вз}$ до и после ограничения УП. С помощью распределений погрешностей можно вычислить для выборок объемов n_1, n_2, n_3, \dots эмпирические вероятности занижения оценок $\bar{X}, X_{вз}$ на заданную величину $M\%$.

В табл. I представлены эмпирические вероятности, подсчитанные указанным способом, для редкометального, золоторудного и медно-колчеданного месторождений.

Таблица I

Объем выборки n	Вероятности неравенств (%)			
	$ \Delta\bar{X}_{20} \leq 10\%$	$ \Delta\bar{X}_{20} \leq 20\%$	$ \Delta\bar{X}_{10} \leq 10\%$	$ \Delta\bar{X}_{10} \leq 20\%$
I	2	3	4	5
Месторождение меди, $V_X = 98.4\%$				
10	61.0	80.2	35.5	63.0
20	83.0	95.0	74.0	91.5
40	92.0	96.0	92.0	96.0
80	96.0	96.0	96.0	96.0
Месторождение редких металлов, $V_X = 191\%$				
10	26.0	43.3	14.5	28.5
20	37.0	70.0	19.5	48.0
40	55.0	85.0	39.0	82.0
80	68.0	92.0	62.0	90.0
Коренное золоторудное месторождение, $V_X = 374\%$				
10	11.8	16.5	7.6	10.4
20	21.0	33.0	11.0	19.0
40	22.0	41.0	9.0	19.0
80	40.0	60.0	26.0	42.0

В графах 2,3 указаны вероятности того, что оценки \bar{X} при ограничении УП порогом с 20-процентным влиянием на оценку будут занижены не более, чем на 10 и 20% соответственно. В графах 4,5 представлены вероятности занижения оценок \bar{X} в тех же пределах для способа ограничения УП порогом с 10-процентным влиянием на \bar{X} .

Из таблицы видно, что второй способ ограничения УП обеспечивает достаточно высокие вероятности неравенств $|\Delta\bar{X}_{10}| \leq 10\%$ и $|\Delta\bar{X}_{20}| \leq 20\%$ только на месторождениях меди и редких металлов при значительных объемах выборок. При малых объемах выборок даже на месторождении меди, имеющем $V_X = 98.4\%$, способ дает низкие вероятности выполнения неравенств. В связи с отмеченным применение способа 10-процентного влияния УП на оценки \bar{X} необходимо ограничить. Способ рекомендуется применять только при определении среднего содержания для блоков и горизонтов, имеющих достаточное число проб (табл. I).

На рис. 4 и 5 показаны номограммы, построенные по данным табл. I методом графической интерполяции. Номограммы позволяют определять вероятность, с которой обеспечивается занижение оценок \bar{X} не более чем на 10 и 20% на данном месторождении при объеме выборки n . Пусть, например, коэффициент вариации содержания компонента на месторождении $V_X = 150\%$ и объем разведочной выборки $n = 50$ проб. Если ограничение УП производится порогом с 20-процентным влиянием на \bar{X} и предел занижения оценок установлен в 10%, то по номограмме (рис. 4) вероятность $P\{|\Delta\bar{X}_{20}| \leq 10\% \} = P_n$ будет равна 70%.

Номограммы позволяют решать и обратную задачу - определять объем разведочной выборки, при котором вероятность $P\{|\Delta\bar{X}_{20}| \leq M\} = P_n$ будет равна заданной величине. Пусть коэффициент вариации содержания на месторождении $V_X = 250\%$, установленный предел занижения оценок $M = 20\%$ и заданная величина вероятности $P_n = 80\%$. С помощью номограммы (рис. 5) определяем, что объем выборки для выполнения указанных требований должен быть $n \geq 57$.

Весьма важным при решении проблемы является вопрос о допустимых пределах занижения оценок \bar{X} и вероятностях выполнения неравенств $|\Delta\bar{X}_{20}| \leq 10\%$, $|\Delta\bar{X}_{20}| \leq 20\%$. Как видно из номограмм, уменьшение допустимого предела M занижения оценок

вызывает увеличение объема разведочной выборки. С другой стороны, установление слишком малого предела m практически исключает применение какого-бы то ни было способа ограничения УП и повышает вероятность завышенных оценок \bar{Y} . Повышение вероятности выполнения неравенств также влечет увеличение объема выборки.

Таким образом, установление слишком малого допустимого предела m и высокой вероятности P_n нецелесообразно по экономическим соображениям. В качестве первого приближения для запасов категорий А и В допустимый предел занижения оце-

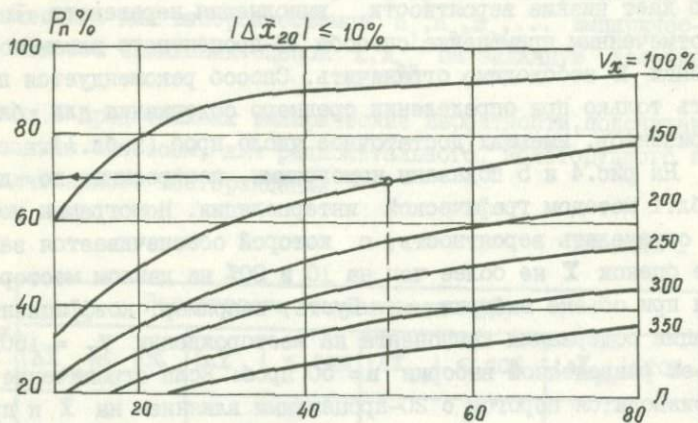


Рис. 4

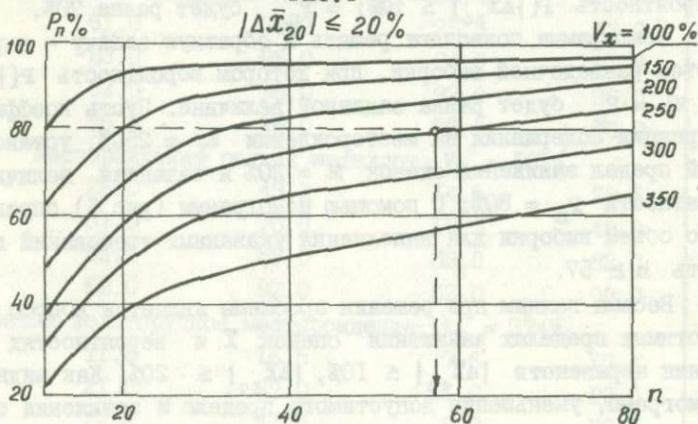


Рис. 5

нок \bar{X} можно принять равным 10% и вероятность $P_n = 90\%$. Для запасов категории C_1 эти величины должны быть более льготными, например, $M = -20\%$ и $P_n = 80\%$.

Фактические величины занижения оценок среднего содержания будут несколько меньше указанных пределов.

В таблице 2 приведены занижения объемов разведочных выборок, обеспечивающих занижение оценок \bar{X} не более чем на 10% с вероятностью 90% для запасов категорий А, В и не более чем на 20% с вероятностью 80% для запасов категории C_1 .

Таблица 2

Категория запасов	Принятые значения M % P_n %	Коэффициент вариации содержания v_x %				
		100	150	200	250	300
		Объем разведочной выборки n				
А, В	- 10 90	40	100	150	180	-
C_1	- 20 80	10	20	30	60	90

Определение порога между нормальными и ураганными пробами при 10-ти и 20 процентном влиянии последних на оценки \bar{X} может выполняться по формулам:

$$X_{YP} = \bar{X} \left(\frac{0,1n + 1}{1,1} \right),$$

$$X'_{YP} = \bar{X} \left(\frac{0,2n + 1}{1,2} \right).$$

При существовании корреляции содержания с мощностью ($t > t_q = 20\%$) порог между нормальными и ураганными значениями метропроцента при 10-ти и 20-процентном их влиянии на \bar{X}_{B3} определяется формулами:

$$(XY)_{YP} = \sum_1^n x_i y_i - \frac{X_{B3}}{1,1} \frac{n-1}{1} y_i,$$

$$(XY)_{\text{УР}}^! = \sum_1^n x_i y_i - \frac{\sum_{1,2} x_{\text{вз}}}{1,2} \frac{\sum_1^{n-1} y_i}{1}$$

Количество номограмм для двумерного случая определения и ограничения УП зависит от диапазона изменения и шага дискретности задания коэффициента корреляции $r_{x,y}$.

Составлена номограмма исследования и решения проблемы УП на двумерных моделях месторождений для ЭВМ "Минск-22".

Л и т е р а т у р а

1. БОГАЦКИЙ В.В., КУДРЯВЦЕВ Ю.А., ТОВБИС С.Н. Роль левой асимметрии при оценке средних значений результатов опробования (на примере золоторудного месторождения). - В сб.: Вопросы методики опробования месторождений полезных ископаемых при разведке и эксплуатации. Свердловск, изд. Свердловск. горн. ин-т., 1969.
2. ВАН дер ВАРДЕН Б.Л. Математическая статистика. М., ИЛ, 1960.
3. ВОЛОДОМОНОВ Н.В. О методе подсчета запасов жильных месторождений. "Горный журнал", 1944. № 3-4.
4. ГОЛЬДФЕЛЬД А.И. Достоверность запасов в зависимости от плотности сети разведочных выборок. - "Труды среднеазиатского научно-исследоват. института геологии и минерального сырья", 1965, вып. 6.
5. ГОРДЕЙКО О.Н. К вопросу оценки величины смещения модального значения суммы независимых случайных величин относительно среднего значения данной суммы. - В сб.: Материалы У научно-технической конференции Всесоюзного Н.-И. и проектно-конструкт. ин-та по осущ. месторождений". Белгород, 1971. ч. 2.
6. ДОЛГОВ В.П., КУРБАНАЕВ М.С., НАУМЕНКО В.В. К вопросу возможности применения ЭВМ в управлении процессом разведки месторождений. - В сб.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых, Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1973.

7. ИВАНОВ М.П., ДЕЙНЕГА С.А., ПЕТРОВ В.А. О влиянии ураганных значений основных подсчетных параметров на оценку их средних значений. "Советская геология", 1972, № 1.
8. КАЖДАН А.Б. Итоги дискуссии о способах выявления и замены ураганных проб. "Разведка и охрана недр", 1971, № 8.
9. КАЖДАН А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М., "Недра", 1974.
10. КОГАН И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М., "Недра", 1974.
11. КУЗЬМИН В.И. Эффективное применение средневзвешенных и среднеарифметических оценок при подсчете запасов и оценке геологоразведочной информации. "Геология и геофизика", 1972, № 7.
12. КУЗЬМИН В.И. Конструирование и исследование двумерных цифровых моделей на ЭВМ. - "Известия вузов. Горный журнал", 1972, № 12.
13. Материалы заседания экспертно-технического совета ГКЗ СССР. М., "Разведка и охрана недр", 1975, № 1.
14. РОДИОНОВ Д.А. Функции распределения содержания элементов и минералов в изверженных горных породах. М., "Наука", 1964.
15. СМИРНОВ Н.В., ДУНИН-БАРКОВСКИЙ И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., "Наука", 1965.

Ю. А. Воронин

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ В ТЕОРИИ
ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1. Как известно [1,2], для эффективного построения АСУ в геологии, в частности АСУ-"Поиск", необходимо предварительно получить ясные, хотя бы грубые, ответы на ряд методологических и теоретических вопросов геолого-экономического характера:

Что является результатами деятельности в геологоразведочной отрасли?

Как описать ее деятельность?

Как описать результаты ее деятельности с целью построения хороших критериев оптимизации?

Как можно улучшить деятельность в геологоразведочной отрасли, с точки зрения этих критериев, с учетом реальных возможностей? Оказывается, что нужные ответы на перечисленные вопросы до сих пор получить не удается, хотя они обсуждаются уже давно [7-9].

2. Вопросы, перечисленные в п.1. так сильно взаимосвязаны между собой, что приходится рассматривать какой-либо один из них в предположении, что остальные уже решены. Обычно рассматриваемый вопрос, предварительно различным образом трансформируют.

3. Чаще всего первоначально обращаются к вопросу описания деятельности в геологоразведочной отрасли, трансформируя его в вопрос о ее характере. Это вопрос обычно формулируют так:

Является ли деятельность в геологоразведочной отрасли производственной, научной, научно-производственной или производственно-научной (см., например, [7-9])?

Как уже отмечалось [1,2], постановка и рассмотрение такого вопроса, в силу расплывчатости наших представлений о производстве и науке, по-видимому, лишены смысла. Любой из допустимых ответов мало что дает и его нельзя обосновать. Обратимся к иному способу описания характера деятельности в геологоразведочной отрасли, который, по-видимому, позволяет сделать некоторые выводы относительно эффективного применения в ней АСУ. Отметим, что сейчас нас будут интересовать лишь общие черты деятельности в геологоразведочной отрасли. Такое общее описание, конечно, является далеко недостаточным. Более подробное описание этой деятельности давалось нами ранее в работе [1,2].

Можно считать, что всякая деятельность характеризуется: объектом деятельности, способом проведения и результатами (приобретениями и потерями).

Следует различать два типа деятельности; когда объект деятельности всегда обладает заранее известным набором качеств, всегда удовлетворяет одним и тем же требованиям и когда объект деятельности не обладает заранее известным набором качеств, не всегда удовлетворяет одним и тем же требованиям. В последнем случае возникает необходимость предварительного уяснения качеств объекта деятельности. Первый тип деятельности можно считать стандартным, второй — нестандартным. Ясно, что деятельность в геологоразведочной отрасли относится к нестандартному типу.

Существуют такие виды деятельности, у которых имеется тесная связь между способами проведения и результатами, и такие, у которых такая связь отсутствует. Первый вид называют просто контролируемым, его можно контролировать либо по способам проведения, либо по результатам, второй же вид называют сложно контролируемым, его приходится контролировать и по способам проведения и по результатам. Ясно, что деятельность в

геологоразведочной отрасли относится к сложно контролируемому виду.

Следует различать такие виды деятельности, в процессе проведения которых не используются органолептические методы получения данных, и такие, в процессе проведения которых такие методы получения данных используются. Такие виды соответственно называют информационно-простыми и информационно-сложными. Ясно, что деятельность в геологоразведочной отрасли относится к информационно-сложному виду.

Разные типы и виды деятельности, о которых шла речь выше, различаются между собой по сложности построения схем описания и критериев оптимизации, по сложности введения специализаций, по сложности овладения, наконец, по сложности управления деятельностью.

Геологоразведочная деятельность, являясь нестандартной, сложно контролируемой и информационно сложной, оказывается одной из самых сложных в указанном выше смысле.

Имеются еще два обстоятельства, которые дополнительно усложняют вопросы анализа геологоразведочной деятельности:

во-первых, эта деятельность связана с природными объектами, которые мы не можем воспроизводить и которые не воспроизводятся сами;

во-вторых, эта деятельность связана с большими затратами материальных и трудовых ресурсов.

Из первого обстоятельства вытекает острая необходимость учета потерь, из второго — ограничения в постановке экспериментов, необходимость моделирования на ЭВМ [1,2].

4. Из сказанного в п.3 можно сделать два важных вывода.

Во-первых, для эффективного применения АСУ в геологоразведочной отрасли необходимо по возможности избавиться от органолептических методов получения данных.

Во-вторых, для эффективного применения АСУ в геологоразведочной отрасли необходимо, прежде всего, как можно подробнее формально описать схему деятельности в этой отрасли, построить формальную теорию, позволяющую описывать допустимые способы действий, описывать результаты допустимых способов действий, устанавливать, хотя бы приближенно, за счет научения (тренинга) связь между допустимыми способами действий и

их результатами [1,2].

5. Чаще всего, во вторую очередь, рассматривают вопрос о том, что производится в геологоразведочной отрасли. Обычно этот вопрос деформируют в вопрос о продукции этой отрасли. Тем самым фиксируется внимание на приобретениях, но остаются в тени потери. Краткое изложение различных точек зрения по этому вопросу можно найти, например, в [7,9]. Из [7,9] вытекает, что до сих пор не найден даже примерный ответ на этот, на первый взгляд, простой вопрос. По нашему мнению, это во многом определяется тем, что поиски ответа ведутся сейчас по подозрительной методике. Следуя этой методике, действуют так:

Во-первых, формулируют (с помощью понятий, лишенных четкого смысла, например, таких, как "информация о разведенных запасах"), перечень возможных ответов на вопрос о том, что является продукцией геологоразведочной отрасли (причем относительно этого перечня нельзя ничего сказать, например, является ли он полным и альтернативным).

Во-вторых, из этого перечня возможных ответов комбинируют ответ, причем из этого ответа никак не вытекают способы описания и критерии оценки продукции геологоразведочной деятельности,

В-третьих приводятся различные соображения, в соответствии с которыми выбранный ответ является наиболее верным (в каком-то неизвестном смысле).

Например, в [7] считается, что продукцией геологоразведочной отрасли может быть: информация о запасах, или (и?) обеспечение разработки месторождений, или (и?) разведенные запасы. Отмечается, что наиболее верно (в каком смысле?) следует считать, что продукцией геологоразведочной отрасли являются разведенные запасы как товар. Далее приводятся рассуждения о потребительских особенностях этой продукции, о необходимости учета количества и качества разведенных запасов, условий их размещения, достоверности сведения о разведенных запасах и своевременности ее представления. Из этих рассуждений никак не вытекают способы описания разведенных запасов и тем более хорошие критерии оптимизации геологоразведочной деятельности.

В дальнейшем мы попытаемся иначе подойти к ответу на вопрос о том, что производится геологоразведочной отраслью, опираясь на те описания ее деятельности и те соображения по ее улучшению, которые приводились ранее в [1,2]. Кроме того, мы будем опираться также на то обстоятельство, что фактически сейчас оценка деятельности геологоразведочной отрасли ведется по приросту запасов полезных ископаемых различных категорий, по условной категории, с учетом затрат на единицу прироста запасов,

Заметим, что введение представлений об условной категории, по-видимому, порождено естественным желанием в одном показателе отразить и качество, и количество, и достоверность сведений о разведанных запасах. Однако сделано это слишком странным образом.

6. Когда речь идет о том, что производится геологической отраслью, то прежде всего, нас интересует как описать результаты ее деятельности и как построить для нее хорошие критерии оптимизации. Отсюда следует, что в начале необходимо договориться о том, какие критерии деятельности следует считать хорошими, как отличить хороший критерий оптимизации от плохого, а также как получать хорошие критерии. С этой целью нам придется сделать несколько кратких замечаний о пользе и вреде специализации деятельности и о согласовании оценок результатов специализированной деятельности, об учете приобретений и потерь, связанных с деятельностью, а также о том, кто должен заниматься оценкой деятельности.

7. Предположим, что имеем дело с бригадой, состоящей из двух человек, которая собирает грибы. Положим, мы оцениваем результаты деятельности этой бригады и каждого ее члена количеством и качеством найденных грибов, с учетом их себестоимости. Пусть первый член бригады с большой поясницей, а второго плохое зрение. Специализируем их так: первый будет искать грибные места и помечать их, а второй будет отыскивать эти места, срезать грибы и укладывать в корзину. Спрашивается, всегда ли такая специализация будет выгодной? По-видимому, она будет выгодной всегда только в том случае, когда для каждого члена бригады будут найдены способы оценки результатов деятельности, согласующиеся с выбранной оценкой результатов

деятельности бригады. Когда способ оценки деятельности первого члена бригады следует считать хорошим? По-видимому, тогда, когда он, при фиксированных способах оценки результатов деятельности бригады и второго члена бригады, будет в хорошей степени согласоваться со способом оценки результатов деятельности бригады. Как мы задаем хорошие оценки для результатов деятельности бригады? По-видимому, на основании включения ее в более сложный коллектив и рассуждений аналогичных предыдущим.

Следует считать, что специализация в деятельности является всегда выгодной только при наличии подходящих способов оценки специализированной деятельности. Начинать специализацию надо с построения критериев (что почти всегда оказывается сложной теоретической проблемой), а не с приказов. Если же поступать наоборот, то можно безнадежно запутать вопрос об оценке результатов деятельности и за счет специализации получить не выигрыш, а проигрыш.

Как представляется, именно так обстоит дело со специализацией деятельности, связанной с минеральным сырьем. Мы, например, разделили между собой добычу, поиски и разведку полезных ископаемых, разделили между собой экспериментальные методы поисков и разведки, разделили между собой, на административных основах, области поисков и разведки, опираясь при этом на общие рассуждения о пользе специализации, не обеспечив этого разделения подходящими критериями. Теперь мы платим за это соответствующую цену и ищем эти подходящие критерии, возможно в условиях, когда их не существует.

Ясно, что не имеет смысла изолированно рассматривать способы оценки какой-либо одной специализированной деятельности, не фиксируя способов оценки результатов деятельности и не фиксируя способов оценки результатов всех других специализированных деятельностей. В таком случае не имеет смысла говорить о качестве способов оценки этой деятельности, даже если мы припишем ей какую-либо продукцию.

Как представляется, так, изолированно, мы и поступаем, например, тогда, когда пытаемся оценить результаты геофизической деятельности в геологоразведочной отрасли. В связи с этим поучительно познакомиться, например, с [3] .

8. Как уже отмечалось [1,2] вопрос о построении хороших критериев оценки деятельности и хороших критериев оценки совокупности специализированных деятельностей является сложной теоретической проблемой, которая имеет решение только в тех случаях, когда специализация проведена надлежащим образом. По-видимому, сейчас не существует каких-либо общих подходов к решению этой проблемы. Обычно используют способ подбора: задаются критериями оценки деятельности, фиксируют один из допустимых способов специализации деятельности, строят для каждой специализированной деятельности перечень различных допустимых критериев оценки, затем подбирают такую совокупность таких критериев оценки специализированных деятельностей, которая в наилучшей степени согласуется с заданными критериями оценки деятельности. Как правило, из чисто теоретических соображений оказывается невозможным найти нужную совокупность. С этой целью приходится проводить длительные экспериментальные исследования.

9. Пусть мы опять имеем дело с бригадой, состоящей из двух членов, которая собирает грибы. Предположим теперь, что грибы появляются только в одном году из тысячи лет. Окажется ли в таких условиях хорошим критерий, учитывающий количество и качество найденных грибов, а также их себестоимость? Не обязательно. Возможно, хорошим будет такой критерий, который, помимо сказанного, учитывает и потери — количество и качество грибов, которые не попали в корзины бригады, которые были пропущены.

Мы сталкиваемся с необходимостью анализа, по крайней мере, двух видов критериев, с учетом различных условий деятельности. Можно убедиться, что первого члена бригады, с большой поясницей, следует контролировать в основном, по приобретениям, второго — по потерям.

Среди деятельности, связанных с природными объектами, которые не воспроизводятся, существуют такие, для которых учет потерь является обязательным. Чем меньше ресурс наших природных объектов, а он со временем всегда убывает, тем тщательнее должны учитываться потери.

Специализация необходима, прежде всего, по роду деятельности, с учетом разделения роли удачи, умения и усердия.

По-видимому, следует считать, что в настоящее время при построении критериев оценки деятельности геологоразведочной отрасли учет потерь оказывается крайне желательным.

Положим, что мы изменили критерий оценки деятельности грибной бригады так, что он учитывает и потери. Ясно, что при этом процедура оценки существенно усложнится, станет значительно дороже, потребует специальной организации для оценки, учета помимо прочего, и психологических аспектов.

10. Перейдем теперь к вопросу о построении некоторых допустимых показателей оценки деятельности в геологоразведочной отрасли, опираясь на теоретическую схему поисков и разведки полезных ископаемых, которая подробно описана в [1,2]. Далее в пп. 13-25 мы проведем сопоставление этой схемы с общепринятой практической схемой поисков и разведки полезных ископаемых. Будем руководствоваться тем, что интересующие нас показатели должны учитывать наши приобретения и потери, точнее обеспечивать, в идеале, при минимуме потерь максимальную скорость приобретения, без лишних затрат, за счет наиболее экономичных действий.

Отметим еще раз, что ориентация на приобретения и ориентация на потери приводит к разным результатам. Одно дело оценивать деятельность грибной бригады по количеству и качеству найденных грибов, другое - оставленных. Ясно, что существенным является и скорость приобретения. Как говорится, желательно собирать грибы быстро и без потерь да еще дешево. Однако такое желание оказывается невыполнимым, приходится идти на компромисс. Ясно, что планирование потерь и планирование приобретений требует разных данных.

В начале выясним принципиальные возможности построения показателей, связанных с обеспечением максимальной скорости приобретения. В соответствии со схемой поиска и разведки, изложенной в [1,2], в общем случае, поиски и разведка проводится в следующих друг другом стадий. Каждой стадии отвечает своя область поиска и свои объекты поиска. То, что является объектом поиска на одной ^{*)} стадии, оказывается областью поиска на последующей стадии. Таким образом, приходится иметь дело с k различными объектами поиска. Например, при $k = 4$ мы будем иметь дело с такими объектами поиска: провинция,

*) Каждая стадия является добывающей для предыдущей.

территория, район, участок. Пусть нам удалось построить такую схему описания k -х объектов поиска, которая позволяет построить классификацию-перечисления этих объектов, учитывающую: количество и качество полезного ископаемого; условия его разработки, условия его транспортировки и пр. Кроме того, будем считать, что удалось ввести условную единицу измерения плотности запасов k -х объектов поиска. Пусть это сделано не только для k -х, но и остальных объектов поиска, причем так, что указаны явные формулы перехода от k -й условной единицы к $(k-1)$ -й, от $(k-1)$ -й к $(k-2)$ -й и так далее. Рассмотрим k -ю область поиска, в которой уже выделены и оценены k -е объекты поиска. Используя представление о плотности запасов k -х объектов поиска, можем провести оценку k -й области поиска в условных единицах. Будем считать, что для такой оценки k -я область поиска разбивается на подобласти оценки.

Пусть: v_k - размер k -й области поиска, v_{ki} - размер ее i -й подобласти, Q_{ki} - запасы в ее i -й подобласти,

$\left[\frac{\Delta Q_{ki}}{Q_{ki}} \right]$ - относительная погрешность определения Q_{ki}

Введем показатели $[I]$:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q} \right]_k = \sum_i \left[\frac{\Delta Q_{ki}}{Q_{ki}} \right] \rho \left(\frac{Q_{ki}}{Q_k} \right), \quad (1)$$

$$\left[\frac{\Delta v}{v} \right]_k = \sum_i \left[\frac{v_{ki}}{v_k} \right] \rho \left(\frac{Q_{ki}}{Q_k} \right), \quad (2)$$

где $Q_k = \sum_i Q_{ki}$, а $\rho \left(\frac{Q_{ki}}{Q_k} \right)$ - функция, возрастающая с ростом своего аргумента, такая, что:

$$\sum_i \rho \left(\frac{Q_{ki}}{Q_k} \right) = 1. \quad (3)$$

Показатель (1) характеризует взвешенную погрешность определения количества запасов k -й области поиска, а показатель (2) взвешенную погрешность определения места расположения запасов в k -й области поиска.

Предполагается, что $\left[\frac{\Delta Q_{ki}}{Q_{ki}} \right] \geq \epsilon_q$, $\left[\frac{v_{ki}}{v_k} \right] \geq \epsilon_v$,

где ϵ_q - оценка снизу для допустимой погрешности определения количества запасов, а ϵ_v - оценка снизу для допустимой погрешности определения места расположения запасов. Эти показатели, как нам представляется, можно использовать для оценки геологоразведочных работ в k -й области поиска, с точки зрения обеспечения максимальной скорости приобретения. Они устроены так, что ориентируют на более точное определение относительной погрешности в количестве и месте расположения больших запасов. Аналогично можно получить такие же показатели для оценки геологоразведочных работ и в других областях поиска в различных условных единицах.

Выясним теперь принципиальные возможности построения показателей, связанных с обеспечением минимальных потерь. В соответствии со схемой поисков и разведки, изложенной в [1,2], каждая h -ая стадия состоит из четырех этапов:

На первом этапе в h -ой области поиска выделяются объекты, которые могут быть h -ми объектами поиска.

На втором этапе эти объекты разделяются на перспективные (похожие на известные объекты, имеющие промышленное значение, или не похожие на известные объекты, не имеющие промышленного значения) и на неперспективные (похожие на известные объекты, не имеющие промышленного значения).

На третьем этапе перспективные объекты упорядочиваются по перспективности.

На четвертом этапе проводится оценивание наиболее перспективных объектов.

Существенно, что среди объектов, выявленных на первом этапе, подвергаются оцениванию на четвертом только некоторые перспективные, которые представляют промышленный или информационный интерес. Среди оставшихся объектов, в силу приближенности наших сведений, могут оказаться и такие объекты, которые также представляют промышленный интерес. Предположим, что организована специальная служба, в обязанности которой входит оценивание, во-первых, таких объектов, выделенных на первом этапе h -й стадии, которые были рекомендованы к оцен-

ке, и, во-вторых, таких, которые были выбраны из nereкомендованных к оценке по некоторому правилу. Тогда основные потери можно будет считать пропорциональными относительно запасу вторых объектов. Такой учет потерь можно осуществить на всех стадиях поисков и разведки, изложенной в [1,2].

К вспомогательным потерям следует отнести затраты, связанные с теми объектами поиска, которые были рекомендованы к оценке как промышленные, но не оказались таковыми. Учет этих вспомогательных потерь не встречает затруднений.

Как известно, наличие самостоятельной службы контроля является одним из необходимых и важнейших факторов успешного развития любого производства.

II. Теперь можно сказать, что представляет (вернее должно представлять) собой геологоразведочная отрасль, что она производит.

Геологоразведочная отрасль является сферой информационного обслуживания для добывающей отрасли, она производит информацию об объектах Земной коры, которые могут представлять интерес для добывающей и геологоразведочной отраслей, являются или промышленными объектами или используются в тех или иных схемах для поиска промышленных объектов. Она должна, в идеале, производить эту информацию (по содержанию и по форме) по заказу и под контролем специальной, независимой от указанных двух отраслей, службы с тем, чтобы обеспечить, в идеале, при обнаружении минимальные потери и максимальную скорость обнаружения полезных ископаемых при минимуме затрат.

12. Сделаем несколько замечаний по вопросу об оценке перспективных объектов поиска (похожих на известные промышленные или не похожих на известные непромышленные объекты). Для рассмотрения этого вопроса требуется в начале выяснить принципиальные возможности оценки промышленных объектов поиска, а также соизмерения по ценности объектов поиска представляющих промышленный интерес с объектами поиска, представляющим информационный интерес. Как можно убедиться, наибольшее число работ, связанных с оценкой промышленных объектов поиска, касается геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых. С состоянием вопроса о таких оценках можно познакомиться, например, по [7] и [8]. Как уже отмечалось [1, 2],

этот вопрос удалось весьма хорошо запутать. Сейчас отсутствуют какие-либо общепринятые приемы геолого-экономической оценки месторождений, хотя, как это всегда подчеркивается, в соответствии с принятой схемой поисков и разведки полезных ископаемых, эта оценка является центральным моментом в организации геологоразведочной отрасли [7]. Как и в других случаях, многие трудности по геолого-экономической оценке обусловлены той методикой, которая сейчас используется при построении таких оценок. Весьма поучительным в этом плане является знакомство с работой [7], а так же [10]. Суть методики, о которой идет речь, как это видно из [7], заключается в попытке избежать математической постановки задачи по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых, в попытке "изобрести", на основе общих соображений, формулу для получения такой оценки, которая бы учитывала как можно больше факторов, в том числе и таких, которые не поддаются объективному учету, которые задаются на основе "как принято". При этом сразу же рассматривают геолого-экономическую оценку на разных этапах изучения месторождений полезных ископаемых, варьируя границы, сроки и технологию отработки "согласно рекомендациям по условиям". Сейчас нет возможности понять, когда речь идет о прямой геолого-экономической оценке месторождений, опирающейся на формальное определение, и когда речь идет о косвенной оценке, опирающейся на формулы, полученные на основе экспериментальных данных. Таким образом, оказывается крайне затруднительным извлечь что-либо объективное из существующих представлений по геолого-экономической оценке месторождений. Во многом здесь дело обстоит так же как и с подсчетом запасов [2, 10]. Здесь так же упор делается на учет важнейших факторов без учета возможности их объективной интерпретации. Нарушается правило о важности факторов: важность может иметь только объективный фактор. По-видимому, сейчас следует искать иные, на первых порах грубые подходы к геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. При этом следует обратить особое внимание на то, что геолого-экономическая оценка используется сейчас как критерий регуляризации всех поисково-разведочных работ. На первых порах хотелось бы достичь понимания задачи, ради которой вводится понятие о гео-

го-экономической оценке месторождений полезных ископаемых на последней стадии изученности. По-видимому, в простейшем случае, эту задачу можно понимать так. Задан район G , описанный надлежащим образом, задан для G потребный запас Q , внутри G имеются месторождения m_1, m_2, \dots, m_n с запасами Q_1, Q_2, \dots, Q_n . Требуется найти группу месторождений $m_{j_1}, m_{j_2}, \dots, m_{j_h}$ такую, что $\sum_{k=1}^n Q_{jk} \geq Q$ и $\sum_{k=1}^n R_{jk}$, где R_{jk} расходы по использованию $k=1$ месторождения m_{jk} ; оказываются минимальными. Основным интерес представляет случай, когда $Q_{jk} < Q$. Видимо понятие о геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых необходимо, прежде всего, для решения указанной задачи, минуя полный перебор.

Пусть нам задано множество промышленных объектов поиска, состоящие из двух подмножества: отработанных и неотработанных объектов. Можно считать, что все эти объекты поиска могут быть охарактеризованы вектором \vec{x} , характеризующим сам объект поиска, вектором \vec{y} , характеризующим геологическую окрестность объекта, поиска, вектором \vec{z} , характеризующим экономический район расположения объекта поиска. Пусть t_1, t_2, \dots, t_n - перечень всех возможных технологий отработки объектов поиска, r_1, r_2, \dots, r_s - перечень всех возможных экономических условий отработки объектов поиска. Можно считать, что t_i выбирается по \vec{x}, \vec{y} а r_j определяется по \vec{y} и \vec{z} . Можно полагать, что уже отработанные объекты поиска могут быть дополнительно описаны вектором \vec{w} , характеризующим экономический эффект их отработки. Таким образом, можно считать, что экспериментальный материал, который может быть использован для геолого-экономической оценки объектов поиска, представляется двумя матрицами: $\{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}\}$ и $\{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}, \vec{w}\}$ Суть геолого-экономической оценки заключается в переходе от вектора \overline{xyz} к вектору \overline{xyzw} . Такой переход требует, помимо прочего, переходов от вектора \overline{xyzw} к векторам $\overline{xy'z'w}$, $\overline{xyz'w}$ и $\overline{xy'z'w}$. В простейшем случае геолого-экономическую оценку объектов поиска можно толковать как построение порядка во множестве объектов поиска по вектору \overline{xyz} при условии, что на подмножестве объектов поиска установлен порядок по вектору \vec{w} .

Из сказанного следует, что сейчас вопрос геолого-экономи-

ческой оценки объектов поиска является, прежде всего, вопросом построения вектора $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ и \vec{w} , вопросом формализованного описания геологических тел, который подробно рассматривается в [1,2] а также вопросом получения исходного экспериментального материала.

Вопрос соизмерения ценности промышленных и информационных объектов поиска, по-видимому, следует рассматривать с учетом того, что изучение последних диктуется совершенствованием технологии поиска и разведки полезных ископаемых. Такое соизмерение определяется допустимыми затратами на это совершенствование. Эти затраты, в свою очередь, могут быть определены моделированием на ЭВМ. Приведем пример, позволяющий грубо соизмерить ценность информационных объектов поиска. Пусть мы имеем дело с объектами двух образов A_1 и A_2 . Фиксируем алгоритм распознавания R (например, "голотип I-2"). Сформируем двумя способами материал обучения M_1 и M_2 так, что M_1 будет содержать только N объектов из A_1 , а M_2 будет содержать m_1 объектов из A_1 и m_2 объектов из A_2 . Сформируем материал экзамена M_0 . Пусть $N \approx m_1 + m_2$. Вычислим $p(R, M_1)$ - ошибки на M_0 за счет R и M_1 , а также $p(R, M_2)$ - ошибки за счет R и M_2 . Как будут соотноситься эти ошибки? Оказывается, что грубо:

$$\frac{p(R, M_1)}{p(R, M_2)} \sim \frac{N}{\min(m_1, m_2)} \quad (4)$$

13. Сейчас поиски и разведка опираются на схему, принципиальное описание которой можно найти, например, в [4]. Эта "практическая" схема совершенствуется по деталям более 30 лет. Возникает вопрос: является ли эта схема по своим принципам единственно возможной? В 1970 году нами была построена другая, "теоретическая" схема [1,2]. Существование принципиально различных схем позволяет ставить вопрос о их сопоставлении с целью отыскания оптимальной для различных геолого-экономических ситуаций, с точки зрения применения геофизических и геохимических методов, математики и вычислительной техники, с точки зрения применения АСУ. Краткое обсуждение этих вопросов и дается ниже. Используются соображения, изложенные в [6].

14. Последний вариант практической схемы закрепленный при-

казом МинГеоСССР в июле 1975 года не имеет принципиальных отличий от варианта, изложенного в [4]. В нем так же отсутствует обоснование принципов выделения стадий и подстадий, на разных стадиях используются разные подходы для выделения подстадий, используется разговорная форма описания подстадии, нет обоснований затрат на них. Он не удовлетворяет требованиям, указанным в [2] в частности, подстадии не имеют объективных оценок качества выполнения (прежде всего, в связи с отсутствием разделения ответственности выбор, за постановку и за решение задач). По этой причине сопоставление двух схем следует вести опираясь на вариант практической схемы, описанной в [4] более простой и всем известной.

15. При сопоставлении двух схем для наших целей сейчас можно ограничиться отображением практической схемы с точки зрения теоретической. Учтем основные положения приказа МинГеоСССР, изданного в ноябре 1974 г.

16. Практическая схема поисков и разведки состоит из стадий, каждая из которых состоит из этапов поисково-разведочных работ. Можно считать, что она состоит из трех стадий: региональной, поисковой и разведочной. Региональная стадия делится на три этапа: мелкомасштабный, среднемасштабный и крупномасштабный; поисковая стадия делится на два этапа: поисковый и поисково-разведочный; разведочная стадия делится на три этапа: предварительный, детальный, экспериментальный.

Можно полагать, что региональная стадия имеет своей основной целью получение исходных данных для постановки задачи на поиски и разведку. Поисковый этап поисковой стадии имеет своей основной целью обнаружение участка, который может оказаться месторождением. Последующие же этапы практической схемы связаны с последовательным изучением обнаруженного участка с возрастающей подробностью (уточнение значений свойств, замеренных ранее, измерение новых свойств).

Практическая схема предусматривает, в целях экономии, прекращение поисково-разведочных работ как только на одном из этапов, связанных с изучением участка, выясняется, что этот участок не имеет предполагаемого промышленного значения.

17. Теоретическая схема поисков и разведки предполагает наличие двух схем прямой и косвенной. Последняя схема состоит

из двух циклов работ: рекогноспировочного и поисково-разведочного. Различают этапы построения и эксплуатации этой схемы.

Рекогноспировочный цикл связан с получением исходных данных и формулировкой задачи на поиск и разведку.

Поисково-разведочный цикл состоит из некоторого числа стадий, в разных случаях различного. Каждая из стадий всегда делится на четыре этапа, а каждый из этапов всегда делится на три отрезка. Одна стадия от другой отличаются областью поиска (например, суперпровинция, провинция, территория, район) и объектом поиска (например, провинция, территория, район, участок). То, что является объектом поиска на данной стадии оказывается областью поиска на последующей стадии.

Первый этап каждой стадии имеет своей основной целью выделение в области поиска множества всех объектов, которые могут оказаться объектами поиска. Второй этап каждой стадии имеет своей основной целью разделение множества выделенных объектов на два подмножества: перспективных и неперспективных объектов. Третий этап каждой стадии имеет своей основной целью упорядочение объектов по перспективности. Наконец, основной целью четвертого этапа каждой стадии является оценивание наиболее перспективных объектов (для участков оно сводится к определению оптимальной технологии разработки, оценке запасов полезных ископаемых, которые могут быть добыты на основе этой технологии, экономической оценке и обеспечению данными проекта разработки).

Первый отрезок каждого этапа каждой стадии связан с выбором сети и набора свойств, второй - с проведением полевых исследований, третий - с решением основной задачи данного этапа и выдачей рекомендаций для проведения первого отрезка последующего этапа.

Можно считать, что совокупность всех этапов, за исключением последнего, имеет своей основной целью последовательное обнаружение участка, который может оказаться месторождением (через обнаружение например, провинций, территорий, районов). Последний же, этап имеет своей основной целью подробное изучение обнаруженного участка. Эта схема предусматривает, в целях экономии, прекращение поисково-разведочных работ как

только на одной из стадий выясняется, что рассматриваемый объект поиска (например, провинция, территория, район, участок) не имеет предполагаемого промышленного значения и, кроме того, не имеет информационного интереса (оказывается, что он имеет меру сходства с уже известными областями поиска, которая превышает некоторую постоянную).

18. Можно видеть, что:

региональная стадия практической схемы отвечает рекогно-сцировочному циклу теоретической схемы;

поисковому этапу поисковой стадии первой схемы отвечает весь поисково-разведочный цикл второй, за исключением последнего этапа;

поисково-разведочному этапу поисковой стадии и всей разведочной стадии первой схемы отвечает последний этап последней стадии второй.

19. Совпадение практической и теоретической схем поиска и разведки по первым работам является вполне естественным. В практической схеме эти работы, связанные с получением исходных данных и формулировкой задачи на поиски и разведку, рассматриваются значительно подробнее. Однако способ формулировки задачи в этой схеме не отвечает современным представлениям о необходимых требованиях к постановке задачи (что требуется, что задано экспериментально, что предполагается, какие ограничения накладываются на способы достижения цели, критерии оценки качества решения, существования эффективных способов получения решения и пр.).

По-видимому, многое, что в этой схеме входит в постановку задачи, должно было бы входить в ее решение и наоборот. Эти первые работы по поиску и разведке, по-видимому, пока следует считать неформализуемыми (их нельзя интерпретировать через известные формальные задачи). По этой причине их формальное рассмотрение в теоретической схеме, на первых порах, вряд ли уместно.

Расхождение же практической и теоретической схем по последующим работам весьма примечательно. В частном случае теоретическая схема, при малых областях поиска, может состоять из одной стадии. Если сравнить этот простейший вариант теоретической схемы с практической, то легко видеть, что в практичес-

кой схеме большее внимание уделяется изучению участков и меньшее — обнаружению участков, в теоретической же схеме наоборот: большее внимание уделяется обнаружению участков и меньшее — изучению участков. Если считать, что в этих схемах основное внимание уделяется наиболее трудному с теоретических позиций вопросу, то следует полагать, что практическая схема ориентирована на месторождения полезных ископаемых, которые "легче обнаружить, чем изучить", а теоретическая схема ориентирована на месторождения, которые труднее обнаружить, чем изучить". (К последним относится, в частности, крупнейшие месторождения). По-видимому, можно полагать, что первая ориентирована на малые области и приповерхностные месторождения, вторая — на большие области поиска и глубинные месторождения. Первое подтверждается и историей возникновения практической схемы. Как известно, эта схема возникла как обобщение опыта поисков и разведки, прежде всего, приповерхностных месторождений полезных ископаемых на малых территориях методом искаживания [4]. Как показано в [2] и поясняется далее, кроме того, следует считать, что практическая схема ориентирована на поиски и разведку только известных типов обычных месторождений которых много и которые похожи друг на друга ^{ж)}, а теоретическая схема ориентирована на поиск и разведку любых месторождений полезных ископаемых.

Важное подчеркнуть, что в практической схеме способы получения экспериментальных данных определяют способ их обработки, в теоретической же схеме наоборот: способы обработки данных определяют способы их получения. Именно поэтому в теоретической схеме экспериментальный материал получается отдельно для выделения, разделения, упорядочения и оценивание объектов, в практической же схеме он получается отдельно только для обнаружения и изучения объектов.

20. По-видимому, самое главное различие между двумя сопоставляемыми схемами связано с различием в условиях прекращения поисково-разведочных работ. В практической схеме прекращение этих работ предусматривается в процессе последователь-

ж) Такая ориентация была бы разумной, если освоенная область поиска была мала по сравнению с неосвоенной областью поиска и, кроме того, вся область поиска была бы однородна.

ного изучения участков, а в теоретической — в процессе их последовательного обнаружения. В результате многократной реализации практической схемы возникает большая выборка, в частности, участков, описанных с весьма различной подробностью (в силу трех обстоятельств: на разных по промышленному значению участках изучение заканчивается на разных этапах, на разных по геологическому строению участках одни и те же этапы изучения проводятся с разной детальностью, отсутствуют единые формальные схемы изучения участков). В результате же многократной реализации теоретической схемы возникает небольшая выборка, в частности, участков, описанных с одинаковой подробностью по единой формальной схеме. Практическая схема порождает разнообразно описанный экспериментальный материал, в значительной степени ненадежный, в частности, в силу изменения и нечетности наших представлений о промышленном значении участков.

21. Сравнение двух схем поисков и разведки полезных ископаемых, практической и теоретической, с экономических позиций следует, по-видимому, проводить прежде всего, с учетом вероятности пропуска месторождений, а также эффективности затрат на поисково-разведочные работы.

Можно считать, что вероятность пропуска месторождений в теоретической схеме заведомо меньше, чем в практической, в частности, потому что практическая схема ориентирована на поиски и разведку только известных типов обычных месторождений.

В теоретической схеме весь получаемый экспериментальный материал используется многократно, в практической же схеме значительная часть этого материала используется однократно.

Заметим, что эти схемы опираются на различные экономические критерии: практическая схема использует критерии оптимизации, учитывающие, методом экспертных оценок, лишь непосредственный (вещественный) экономический эффект, теоретическая же схема использует критерии оптимизации, учитывающие и опосредственный (информационный) экономический эффект. Практическая схема стимулирует прежде всего "удачу, а затем усердие и умение", теоретическая, прежде всего "усердие и умение, а затем отдельно удачу" [2].

Первая схема, как почти все практические приемы, отвечает

стремлению получить максимальный тактический успех без учета стратегических потерь.

Пусть Q^+ - обнаруженные запасы, Q^- - пропущенные, V^+ - скорость обнаружения, R^+ - затраты на обнаружение, R^- - затраты на контроль пропусков, R^0 - затраты на адаптацию. Практическая схема, во всех своих вариантах, отвечает установкам: V^+ - макс., Q^+ - макс., $R^- = 0$, $R^0 = 0$, $R^+ \leq R$, теоретическая же схема, в варианте [2] отвечает установкам: Q^- - мин., V^+ - макс., $R^0 \neq 0$, $R^+ + R^0 + R^- \leq R$, $R^0 \neq 0 \Rightarrow R^- \neq 0$.

Выбором алгоритмов (смотри приложение) теоретическая схема может быть приспособлена к любым установкам, практическая такого приспособления не допускает.

22. Очевидно, что эффективное использование геофизических и геохимических методов при поисках и разведке полезных ископаемых, как любых косвенных методов, требует, прежде всего, однородного, описанного с одинаковой подробностью экспериментального материала и четкой постановки задач. Вследствие этого теоретическая схема, с этой точки зрения, имеет значительные преимущества перед практической.

23. Эффективное применение математики, вычислительной техники и АСУ при поисках и разведке возможно только в том случае, если используемая схема является формализуемой.

Как можно видеть, в практической схеме обнаружение участков, которые могут оказаться месторождениями, опираются на представления об отдельных поисковых признаках и критериях, на простейшие рассуждения по аналогии, а также на генетические представления (см., например, [5] и [4] стр. 59-101 и [10]). Представления о отдельных поисковых критериях и признаках и простейшие рассуждения, по аналогии легко формализуемы. Однако они оказываются мало привлекательными. Во-первых, одномерные поисковые критерии и признаки могут существовать только в редких случаях (только для узкого круга приповерхностных месторождений). Во-вторых, простейшие рассуждения по аналогии обладают малой эффективностью даже для ординарных месторождений известного типа, и, в принципе, не могут приводить к отысканию уникальных месторождений и ординарных месторождений нового типа. Генетические же представления, носящие гипотетический характер, фиксируемые на принятом сейчас геоло-

гическом языке, в принципе не формализуемы.

В теоретической схеме обнаружение участков, которые могут оказаться месторождениями, основывается на многомерных критериях и признаках и опирается на рассуждения по аналогии и по исключительности. В основе обнаружения лежат формальные представления о геологических пространствах. Используются алгоритмы распознавания, группирования и упорядочения. Такое обнаружение участков оказывается пригодным для любых месторождений [1,2].

В практической схеме изучение участков опирается, как легко видеть, опять-таки, на простейшие соображения по аналогии, на представления об изученности участков и степени подготовленности запасов полезных ископаемых. Как это следует, в частности, из инструктивных материалов ГКЗСССР, опубликованных за последние 30 лет, понятия о степени изученности, степени достоверности и степени подготовленности весьма туманны, по-видимому, их, в принципе, нельзя формализовать. По остроумному замечанию В.М.Крейтера эти степени говорят лишь о степени нашего незнания.

В теоретической схеме изучение участков опирается на соображения по планированию экспериментов и построению функций по экспериментальным данным, а также на формальные представления о точности определения места расположения и количества эффективно извлекаемых запасов полезных ископаемых.

Таким образом, очевидно, что и с этой точки зрения, теоретическая схема имеет значительные преимущества перед практической.

24. Как сейчас любят повторять, современное состояние поисков и разведки полезных ископаемых характеризуется:

переходом к большим глубинам на континентах, переходом к морям и океанам, к новым типам скоплений, к новым видам полезных ископаемых (возвращением в старые районы);

быстрым ростом возможностей физико-химических экспериментальных методов;

наличием мощных средств хранения, передачи, представления и обработки данных этих методов;

ориентацией на применение АСУ поисково-разведочными работами.

Если это так, то есть все основания полагать, что для повышения эффективности поисково-разведочных работ необходим, прежде всего, переход к теоретической схеме.

25. Для осуществления постепенного и осторожного перехода к теоретической схеме поисков и разведки полезных ископаемых необходимы: дальнейшая разработка этой схемы, разработка специальных учебных пособий, инструкций и методических руководств, переподготовка, прежде всего, руководящих геологических кадров. Главное необходимо создание подходящей обстановки в научных и производственных геологических организациях, где часто, без каких-либо теоретических обоснований, канонизируются приемы, закрепленные геологической практикой. Многие ведущие геологи считают, что все, закрепленное традициями геологии, является оптимальными во всех условиях.

По-видимому, в настоящее время развитие теоретических представлений по поискам и разведке полезных ископаемых в связи с математическими методами и ЭВМ следует вести в институтах физико-математического профиля или специальными межинститутскими лабораториями.

Предлагаемое здесь является одной из возможных реализаций идей академика Г.И.Марчука о выходе научных исследований на целую отрасль. По-видимому, сейчас прогресс в геолого-разведочной отрасли может быть обусловлен, прежде всего переходом к новой схеме поисков и разведки и новым принципам формулировки геологических заданий на основе новых представлений о геологических задачах.

Приложение

О формальной задаче управления поисками и разведкой полезных ископаемых

1. Пусть $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор возможного способа поисков и разведки полезных ископаемых, X - множество всех \vec{x} , \vec{x}_1 - множество всех \vec{x} , допустимых ограничениями, наложенными на поиски и разведку. Ранее было показано (см., например, Ю.А.Воронин "Элементы теории поисков полезных ископаемых", сб. "Некоторые проблемы вычислительной и прикладной математики", "Наука", Новосибирск, 1975 г. стр.281-291), что попытка поставить задачу управления поисками и разведкой полезных ископаемых в виде принятом в теории исследования операций (см. например, Ю.Л.Зайченко "Исследование операции",

"Высшая школа", Киев, 1975 г. стр. II) - найти такой $\vec{x} \in \vec{X}_1$, для которого функция цели $\varphi(\vec{x})$ оказывается максимальной - встречается сейчас с рядом трудностей. Пока еще не видно путей построения $\varphi(\vec{x})$ и путей подходящего задания \vec{X}_1 . Это заставляет искать другую постановку этой задачи.

2. Предположим, что между двумя \vec{x}_i и $\vec{x}_j \in \vec{X}_1$ возможно только одно потношение $\vec{x}_i > \vec{x}_j$ (\vec{x}_i более выгодно, чем \vec{x}_j). Пусть \vec{X}_1 задано некоторыми своими представителями $\vec{x}_{i_1}, \vec{x}_{i_2}, \dots, \vec{x}_{i_n}$ и, кроме, того, задано, что $\vec{x}_{i_1} > \vec{x}_{i_2} > \dots > \vec{x}_{i_k}$. Под задачей управления поисками и разведкой полезных ископаемых будем понимать отыскание такого $\vec{x}^* \in \vec{X}_1$, что для всех других $\vec{x}_1 \in \vec{X}_1$ будет выполнено $\vec{x}^* \in \vec{x}_1$.

3. В настоящее время решение задачи управления поисками и разведкой полезных ископаемых реализовано в следующей формальной схеме.

(а) Решается (с помощью пакета программ Н.Шевченко) задача распознавания на случай представителей одного образа \vec{X}_1 и тем самым задается в первом приближении \vec{X}_1 .

(б) Задается (с помощью пакета программ А.Кузнецова) \vec{X}_1 во втором приближении с помощью матриц бинарных ограничения $M_1(x_1, x_2), M_2(x_2, x_3), \dots, M_n(x_{n-1}, x_n)$ (см., например, Ю.А.Воронин, А.Г.Кузнецов "Об использовании полиадических связанных систем счисления для решения задачи геологии на ЭВМ" препринт, ВЦ СО АН СССР, 1975 г., стр.4-5).

(с) Строится (с помощью пакетов программ А.Г.Кузнецова и Н.Гореловой) номерическая функция $N = f(\vec{x}), \vec{x} \in \vec{X}_1$, такая, что $N_{i_1} > N_{i_2} > \dots > N_{i_k}$, а так же строится обратная ей функция $\vec{x} = \varphi(N)$ и вычисляется максимальный номер N^* , по которому отыскивается \vec{x}^* . (См., например, упомянутую работу Ю.А.Воронина и А.Г.Кузнецова и работу Ю.А.Воронина, Н.Г.Гореловой "К формальной постановке задачи группового выбора", препринт, ВЦ СО АН СССР, 1975 г.).

4. В целях математического обеспечения предлагаемого подхода для отыскания $\vec{x}^* \in \vec{X}_1$ и уяснения возможностей эффективного выбора $\vec{x}_{i_1}, \vec{x}_{i_2}, \dots, \vec{x}_{i_n}$, а так же выяснения условий, которые следует наложить на $\vec{x} \in \vec{X}_1$, проводится решение задач поисков и разведки полезных ископаемых на математических моделях, отвечающих линейному, дискретному, нелинейному и динамическому

кому программированию (см., например, упомянутую работу Ю.П.Зайченко).

Л и т е р а т у р а

1. ВОРОНИН Ю.А. К проблеме создания АС для решения задач поиска полезных ископаемых. В сб.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Тр. ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1973.
2. ВОРОНИН Ю.А. Программа и методические разработки к курсу "Теория поисков полезных ископаемых", ротапринт КОМЭ МГ КазССР, Алма-Ата, 1975.
3. ДУНАЕВ В.Ф., МИЛОВИДОВ К.Н. Оценка экономической эффективности геофизических работ на нефть и газ. М., "Недра", 1973.
4. КРЕЙТЕР В.М. Поиски и разведка полезных ископаемых. Гостгеолгиздат, Москва, 1940.
5. КРЕЙТЕР В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., "Недра", 1969.
6. МАМЧУР Е.А. Проблема выбора теории. М., "Наука", 1975.
7. МАРГОЛИН А.М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., "Недра", 1974.
8. МЕЛЬНИКОВ Н.В. Проблемы использования природных ресурсов. АН СССР, Москва, 1967.
9. СОКОЛОВСКИЙ Ю.А. Экономические проблемы геолого-разведочных работ. Новосибирск, "Наука", 1974.
10. ШПИЛЬМАН В.И. Обзор методик подсчета прогнозных запасов. - Сб. Методика оценки прогнозных и перспективных запасов и обоснование подсчетных параметров. Тр. ЗапСиб НИГНИ вып. 53, Тюмень, 1972.

Ю.А.Воронин, Э.А.Еганов, Ф.А.Усманов

О ТИПИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЭВМ

"Наука — игра с природой против
лиц, защищающих традиции, против
собственных привычек и взглядов".

Успешное применение любых методов в геологии, геохимических и геофизических, особенно в комплексе, особенно с применением математических методов и ЭВМ, возможно только в том случае, если у нас имеется достаточно четкое представление о том, что следует понимать под геологической задачей, какие типы таких задач бывают, что следует понимать под их постановкой, что следует понимать под математической постановкой геологической задачи, каким образом можно получить различные математические постановки, как их сравнить между собой и выбирать наилучшую, как оценивать качество решения задачи с позиций внутренних и внешних критериев, какие задачи являются специфическими для геологии, как упорядочить геологические

задачи по важности, актуальности, трудности и пр. К сожалению, таких достаточно четких представлений у нас до сих пор не имеется. Как это видно из обзорных и систематизирующих работ, например, [1], [2], [7], [11], [12], [13], [17], [21], [23], [24], [25], [20], [28] разные авторы пользуются весьма различными нечеткими представлениями, иногда даже не ощущая необходимости их фиксации. В работе [5] отмечалось, что и в традиционной геологической литературе нет сколь-нибудь четких представлений о геологических задачах (сравни, например, [18] и [26]), что приводит к ряду нежелательных последствий. На это уже обращали внимание некоторые исследователи, в том числе Ю.А. Воронин, Э.А. Еганов, А.М. Боровиков, Ф.А. Усманов, В.М. Сидоров, М.В. Рац и др. Известны и попытки уточнения некоторых из этих представлений о геологических задачах (смотри, например, [5], [23] и [25]). Ниже дается уточнение и развитие суждений о геологических задачах, сформулированных ранее Ю.А. Ворониным, Э.А. Егановым и Ф.А. Усмановым.

2. В дальнейшем мы, прежде всего, предпримем попытку уточнить общие представления о геологических задачах и предложить их типизацию. Представляется необходимым с самого начала уточнить цели, ради которых эта попытка предпринимается. Обычно считают, что уточнение общих представлений о задачах и построение их типизации проводятся для облегчения поисков путей их решения. Эта мысль четко сформулирована в [19], стр. 145: "... при решении задач может оказаться полезной их типизация, проведение различия между задачами в соответствии с их типами. Хорошая типизация предполагает разбиение задач на такие типы, что тип задачи предопределяет метод его решения". Если бы удалось сформулировать и решить в общем виде основные типовые задачи геологии, то в большинстве случаев решение каждой конкретно возникающей задачи сводилось бы к отнесению ее к одному из известных типов. По-видимому, такая заманчивая цель в геологии сейчас вряд ли может быть достигнута. В связи с этим будем иначе толковать цели. Надо отметить, что вопрос о целях уточнения представлений о геологических задачах является сейчас, пожалуй, наиболее важным и спорным в теоретичес-

кой геологии ^ж). С учетом сказанного в п. I, будем считать, что наши цели сводятся к следующему:

(1) Получить, хотя бы качественные, критерии, позволяющие различать геологические проблемы, задачи, подзадачи и вопросы. (Мы используем сейчас понятие задачи в крайне неопределенном смысле. Например, говорим о прямых и обратных задачах геофизики [26], хотя, по-видимому, только в первом случае мы имеем дело с задачей, а во втором, имеем дело с проблемой).

(2) Построить, хотя бы качественные, показатели, которые позволили бы отличать геологические задачи от вопросов выработки численных критериев при формировании геологических понятий, от вопросов преобразования геологических данных к виду, удобному для визуального анализа или для принятия экспертных решений. (Мы, например, говорим о задаче построения критериев изученности, изменчивости или достоверности наших данных, хотя, по-видимому, следовало бы говорить о формировании соответствующих понятий [6]. Мы говорим о решении задач в сейсморазведке методом ОГТ [26], хотя, по-видимому, следовало бы говорить о преобразовании данных к виду, удобному для визуального анализа [5]. Мы говорим о задаче подсчета запасов полезных ископаемых и геолого-экономической оценке месторождений [18], хотя, по-видимому, следовало бы говорить о преобразовании данных для принятия экспертных решений [6]).

(3) Дать определения формальных типов геологических задач для отыскания их аналогов в других областях знаний и заимствования приемов их постановки и решения.

(4) Выделить, если имеется такая возможность, специфические формальные типы геологических задач.

(5) Построить, хотя бы только необходимые, правила матема-

ж). Представляет интерес познакомиться с походом к геологическим задачам, который изложен в работах А.Н.Еремеева и др. Системный подход к управлению поисково-разведочным работам., Тр. ВИМС, Вып. I, 1975г. Папазоглу Г.А. и др. Принципы систематизации соответствия геологических и математических задач, "Сов. геология", 1975, № I.

тической постановки геологических задач, правила их сопоставления и оценки результатов их решения с учетом дальнейшего использования этих результатов в формальных или неформальных построениях.

3. Перейдем к уяснению общих представлений о геологических задачах. Обычно при таком уяснении исходят из тех представлений о задачах, которые приняты сейчас логиками. При этом задачу толкуют в самом широком смысле. Например, в соответствии с [19], стр. 143, под задачей понимают "сознательный" поиск средства для достижения "ясно видимой", но "непосредственно недоступной" цели, а также "достижение" этой цели. Эти представления слишком общи для того, чтобы их можно было использовать для конструирования нужных нам представлений о геологических задачах, которые позволяют достичь указанных в п. 2 целей. По-видимому, на первых порах, выгодно стремиться к узкому представлению о геологических задачах, оставляя на будущее вопрос расширения уже выработанного узкого представления [5]. Условимся далее не использовать представлений о тривиальных и нетривиальных целях, поскольку их не удастся уточнить.

Будем говорить, что мы имеем дело с задачей, если фиксированы:

- (0) Множество объектов исследования;
- (1) Что надо сделать, цель;
- (2) Что задано экспериментально;
- (3) Что предполагается теоретически;
- (4) Множество допустимых способов достижения цели;
- (5) Критерии оценки качества допустимых способов достижения цели (внутренние и внешние);
- (6) Показано, что существует и притом единственный оптимальный способ достижения цели, который и следует найти.

Таким образом, предполагается, что когда речь идет о задаче в логическом смысле, то имеет место указанная выше ситуация.

Если эта ситуация отвечает множеству геологических объектов исследования [3], описана на каком-либо диалекте геологического языка [5, 6], условимся говорить о геологической задаче.

Если имеет место только (0) и (1), то будем говорить, что имеем дело с геологической целью.

Если имеет место (0), (1) и (2), то будем говорить о геологической квазизадате (проблеме).

Итак, в логическом плане задача толкуется как некоторая исследовательская ситуация. Геологическая задача определяется на основе представлений о задаче, о множестве геологических объектов исследования и диалектах геологического языка. Стремясь сузить понятие геологической задачи и уточнить представления о ее постановке, мы вводим понятия о геологических целях и квазизадачах.

Если множество геологических объектов исследования заменено на множество объектов исследования теоретической геологии [3,5] и диалект геологического языка заменен на язык теоретической геологии, то будем соответственно говорить о задаче теоретической геологии, теоретической цели, о квазизадате теоретической геологии.

Таким образом, представления о геологической задаче, о задаче теоретической геологии и о задаче в логическом смысле отвечает трем различным уровням абстракции. Переход от одного абстрактного уровня к другому более абстрактному, например, от геологической задачи к задаче теоретической геологии, возможен разными путями. Важно выбрать подходящий уровень абстракции. По-видимому, сейчас следует выбрать средний уровень [3,6]. Он допускает формальный подход к интересующим нас целям и, как можно надеяться, позволит получить интересные результаты.

Будем считать, что имеем дело с постановкой геологической задачи, если имея геологическую квазизадату, мы пытаемся получить задачу теоретической геологии. Понятие о постановке геологической задачи является сейчас также очень важным и спорным в теоретической геологии. Оно тесно связано с развитием языка теоретической геологии. Ясно, что одна и та же геологическая задача может быть поставлена многими способами.

5. На уровне задач в логическом смысле, как известно [19], задачи разделяются на два типа: задачи на нахождение и задачи на доказательство. В основе этого разделения лежат представления о главных частях задач. Для задач на нахождение:

данные, неизвестные и условия, для задач на доказательство: условие и заключение. В [25] показано, что и геологические задачи можно делить аналогичным образом. Однако это не приводит к каким-либо интересным результатам. Видимо, это объясняется слишком высоким уровнем абстракции. С учетом сказанного в конце п.3, сейчас следует типизировать, прежде всего, задачи теоретической геологии. Это важное обстоятельство, на котором мы настаиваем. В связи с этим, как нам кажется, представления о типах геологических задачах геофизических исследований, изложенные, например, в [26], стр. 23-25, нуждаются в значительном изменении, они слишком конкретны.

6. Будем считать две задачи теоретической геологии относящимися к одному типу, если они связаны с одинаковыми теоретическими геологическими целями. Следуя [10,11], выделим три возможных вида теоретических геологических целей: статические, динамические и ретроспективные. Исключим из рассмотрения цели ретроспективного вида, полагая, что они всегда могут быть интерпретированы через другие виды целей, они не представляют для нас самостоятельного интереса.

7. Для типизации задач теоретической геологии предпримем попытку перечисления всех возможных теоретических целей статического и динамического видов.

(0)₁ Г е о м е т р и з а ц и я. Определить в момент T для геологического объекта A , расположенного в области G : форму и (или) размер, и (или) ориентацию, и (или) место расположения: $G(A) \rightarrow \vec{r}(A)$.

(0)₂ Э к с т р а п о л я ц и я. Определение свойства x присущего одним частям A_1, A_2, \dots, A_n геологического объекта A через свойство x , присущее другим частям A'_1, A'_2, \dots, A'_m этого объекта: $\vec{X}(A'_k) \rightarrow x(A_e)$

(I) А - д и а г н о з. Определение одного свойства y , присущего геологическому объекту A в момент T , через другие свойства \vec{X} , присущие ему в этот же момент T : $\vec{X}(A) \rightarrow y(A)$

(2) В - д и а г н о з. Определение одного свойства y , присущего геологическому объекту A в момент T , через другие свойства \vec{X} , присущие частям A_1, A_2, \dots, A_n этого объекта

в тот же момент T :

$$\vec{X}(A_1), \vec{X}(A_2), \dots, \vec{X}(A_n) \rightarrow y(A).$$

(3) С - д и а г н о з. Определение одного свойства y , присущего одним частям A_1', A_2', \dots, A_m' геологического объекта A в момент T , через другие свойства \vec{X} , присущие другим частям A_1, A_2, \dots, A_n этого объекта в тот же момент T :

$$\vec{X}(A_1), \vec{X}(A_2), \dots, \vec{X}(A_n) \rightarrow y(A_1'), y(A_2'), y(A_3'), \dots, y(A_m')$$

(4) Д - д и а г н о з. Определение свойства y , присущего частям A_1, A_2, \dots, A_n объекта A в момент T , через другие свойства \vec{X} , присущие этому объекту в тот же момент T :

$$\vec{X}(A) \rightarrow y(A_1), y(A_2), \dots, y(A_n).$$

(5) А - п р о г н о з. Определение свойства x , которое было присуще геологическому объекту A в момент T_0 , через то же свойство x , которое присуще ему в момент $T', T' > T_0$.

$$x_{T_0}(A) \leftarrow x_{T'}(A).$$

(6) В - п р о г н о з. Определение свойства x , которое будет присуще геологическому объекту A в момент T_1 через то же свойство x , которое присуще ему в моменты $T', T_1 > T'$.

$$x_{T'}(A) \rightarrow x_{T_1}(A).$$

(7) К о н с т р у и р о в а н и е. Построение геологического объекта A , которому в момент T присуще свойство y , из геологических объектов B_1, B_2, \dots, B_n , которым в момент T присущи другие свойства \vec{X}

$$\{\vec{X}(B_i)\} \rightarrow y(A).$$

(8) П о и с к. Отыскание в пространстве объектов A_1, A_2, \dots, A_n , которым в момент T присущи свойства \vec{X} , такого геологического объекта, которому в момент T присуще свойство y .

$$\langle \bar{X}(A_1), \bar{X}(A_2), \dots, \bar{X}(A_1), \dots, \bar{X}(A_n) \rangle \rightarrow \langle y(A_1) \rangle.$$

Можно полагать, что это перечисление целей является приспособлением к нашим нуждам известного перечисления типов логических задач по Д.Поппа [19] (задачи на нахождение, доказательство и проверку). Можно дать иллюстрации ко всем этим целям, показать их независимость и убедиться в полноте перечня [6]^ж. Разумеется, возможна дальнейшая детализация целей.

8. Прежде чем двигаться далее необходимо кратко напомнить известные подходы к типизации геологических задач, формулируемых на различных геологических диалектах, для решения которых применяются те или иные математические конструкции. В настоящее время наметилось два подхода: естественно-научный и аксиоматический.

(1) Естественно-научный подход. Он заключается в использовании для типизации задач геологии классификаций геологических и математических дисциплин. Можно выделить два вида типизаций геологических задач, основанных на этом принципе.

а) Предметно-геологические типизации. В типизациях этого вида выделяются типы задач структурной геологии, стратиграфии, палеонтологии, региональной геологии и т.п. В качестве примеров можно привести типизации задач, рассмотренные в работах [2, 3, 7, 20, 24].

б) Предметно-математические типизации. В типизациях этого вида выделяются задачи дисперсионного, регрессионного, многомерного, факторного анализа и т.п. [12, 13, 17].

Привлекательность естественно-научного подхода состоит в том, что он отвечает традиционно сложившимся направлениям специализации научно-исследовательских работ. Однако он мало что дает с точки зрения целей, о которых речь шла в п. 2.

(2) Аксиоматический подход. В этом подходе для построения типизации используются наиболее общие понятия. Среди существующих типизаций, отвечающих этому направлению, отметим следующие:

а) Типизации, основанные на понятиях модели и описания [2, 28].

^ж Можно убедиться, что в терминах этих задач можно интерпретировать все геологоразведочные работы, перечисленные, например, в приказе МГ СССР, ноябрь, 1974 года.

б) Типизации, основанные на понятиях геологического и признакового пространств и операций над множествами точек в этих пространствах [5, 27];

в) Типизации, основанные на понятии времени [10, 11].

Анализ перечисленных аксиоматических типизаций приводит к выводу, что они отражают интересные особенности геологических задач, но тоже мало что дают с точки зрения целей, упомянутых в п. 2. Заметим, что упомянутые два подхода хотя и неявно, предполагают, что каждой о д н о й геологической задаче отвечает о д н а математическая задача. Часто в связи с соответствием между геологическими и математическими задачами отмечают следующее. Существующие сейчас резкие различия между геологической и математической постановками задач должны уменьшаться по мере формализации геологического языка. При постановке и решении задач сейчас приходится пользоваться двумя несопоставимыми по степени строгости и почти неперекрывающимися по числу общих понятий языками - геологическим и математическим. В связи с этим вопросы установления соответствий между математическими и геологическими задачами являются весьма актуальными. Вместе с тем, в этих вопросах не существует четких представлений [27]. Если задача сформулирована в геологических терминах, то переход к математической ее постановке интерпретируют как выбор такой математической задачи, которая находилась бы в определенных отношениях к данной геологической задаче. Обычно исходят из следующего определения математической постановки геологической задачи. Пусть А и В - задачи, сформулированные соответственно в геологических и математических терминах. Задачу В называют математической постановкой геологической задачи А, если для решения задачи А достаточно решить задачу В^{*}.

Далее мы покажем, что в общем случае геологической задаче отвечает г р а ф математических задач [6]. Только в очень редких случаях этот граф содержит о д н у задачу.

9. В п. 7 при формулировке целей (0) - (8) использовалось

ж) Это определение близко по смыслу к определению отношения между задачами по степени результативности или к понятию односторонней редукции [19].

представление о геологических объектах. Считалось, что нам задано множество таких объектов и речь идет об операциях с ними. Без ущерба для общности можно считать, что в теоретической геологии мы имеем дело только с двумя видами объектов: статическими и динамическими телами, которые нами выделяются в теоретическом геологическом пространстве. Понятие геологического пространства уже неоднократно обсуждалось нами [3,5,6,9], хотя, как нам кажется, оно еще чуждо многим исследователям. Именно оно является, по нашему мнению, центральным для теоретической геологии, фиксирующим предмет ее исследования, именно его следует разрабатывать в первую очередь и наиболее тщательно, имея в виду вопросы типизации задач. Как уже неоднократно отмечалось [3,5], понятие теоретического геологического пространства опирается, прежде всего, на понятие расстояния и меры сходства между двумя произвольными векторами одинаковой длины, которые уже в значительной степени разработаны [6]. Кроме того, оно опирается на понятия о различных отношениях между этими векторами. Основным показателем для типизации теоретических геологических пространств следует считать именно эти расстояния, меры и отношения, которые могут вводиться различным образом.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что нельзя говорить о построении и развитии теоретической геологии, минуя построение и развитие ее языка, каким бы путем он не создавался ("эволюционным", "революционным", "в связи с конкретными задачами", "самостоятельно" и пр.). Нельзя говорить о типизации геологических задач, если предварительно не разработать исходные понятия, связанные с теоретическим геологическим пространством, понятия, определяющие объекты исследования теоретической геологии, в первую очередь, геологические тела. Последние разработки по этому вопросу даны в [6].

Заметим, что в п. 7, в формулировке целей (7) и (8), под геологическим объектом можно, с учетом известного соотношения двойственности по операциям между телами и свойствами тел (смотри, например, [6] стр.19), понимать или геологическое тело, или свойство геологического тела.

Геологические тела, представляющие собой особые множества точек теоретического геологического пространства могут быть

получены специальными переходами от геологических точек к геологическим телам и от геологических тел к геологическим телам. Для того чтобы проводить операции над геологическими телами, их надо не только выделить, но еще описать, установить процедуры их сравнения по способу выделения, способу описания и параметрам описания, а также указать различные отношения между ними. Иначе говоря, для того, чтобы проводить операции над геологическими объектами надо задать модель множества этих объектов. Опираясь на понятие модели множества объектов теоретической геологии в дальнейшем мы предпримем попытку разбить типы задач теоретической геологии на виды.

II. Можно убедиться, что построение модели множества объектов теоретической геологии осуществляется посредством решения ряда формальных геологических задач. Введение понятия о формальных геологических задачах представляется нам тоже важным и необходимым. Опираясь на [5, 6], перечисление этих задач можно построить так:

А. Формальные геологические задачи в геологическом пространстве

- (1)₁ Введение расстояний между точками.
- (1)₂ Введение расстояний между телами.
- (2)₁ Введение мер сходства между точками.
- (2)₂ Введение мер сходства между телами.
- (3)₁ Введение мер связи и связи по преобразованиям между свойствами, заданными на точках.
- (3)₂ Введение мер связи и связи по преобразованиям между свойствами, заданными на телах.
- (4)₁ Выделение точек.
- (4)₂ Выделение тел.
- (5)₁ Описание точек.
- (5)₂ Описание тел.
- (6)₁ Введение отношений между точками.
- (6)₂ Введение отношений между телами.
- (7)₁ Разделение точек.
- (7)₂ Разделение тел.

В. Формальные геологические задачи

в пространстве свойств

- (2)₁ Введение мер сходства между точками.
- (2)₂ Введение мер сходства между множествами точек.
- (3)₁ Введение мер связи между свойствами, заданными на точках.
- (3)₂ Введение мер связи между свойствами, заданными на множествах точек.
- (4)₁ Выделение точек.
- (4)₂ Выделение множеств точек.
- (5)₁ Описание точек.
- (5)₂ Описание множества точек.
- (6)₁ Введение отношений между точками.
- (6)₂ Введение отношений между множествами точек.
- (7)₁ Разделение точек.
- (7)₂ Разделение тел.

Определения, пояснения и иллюстрации к перечисленным выше формальным геологическим задачам можно найти в [5], стр. 52 - 55, и в [6].

12. Чаще всего построение модели множества объектов теоретической геологии осуществляется посредством решения формальных геологических задач в следующей последовательности: (1)₁, (2)₁, (3)₁, (4)₂, (5)₂, (1)₂, (2)₂, (3)₂, (6)₂, (7)₁, п. II. Для решения каждой из рассматриваемых формальных геологических задач необходимо представить ее в виде последовательности известных математических задач. Таким образом, построение модели множества объектов теоретической геологии осуществляется посредством постановки и решения последовательности известных математических задач. Необходимо заметить, что чаще всего приходится использовать не сами известные математические задачи, а их огрубленные аналоги. Например, в [6] показано, что формальная геологическая задача (2)₂, п. II, иногда может быть сведена к известной математической задаче на условный экстремум: найти такой \vec{X} , для которого $\varphi(\vec{X})$ оказывается максимальной, при условии, что \vec{X} принадлежит области $\{\vec{X}\}$ явно заданной некоторыми условиями. В подавляющем большинстве случаев оказывается необходимым решать грубый аналог этой задачи: найти такой \vec{X} ,

для которого $\varphi(\vec{x}) \geq \varphi_0$, при условии, что \vec{x} принадлежит области $\{X\}$, которая задается неявно некоторыми своими представителями^{*}). В силу указанного обстоятельства исследование возможности представления формальных геологических задач, упомянутых в п. II, в виде последовательности известных математических задач, оказывается одной из важнейших проблем теоретической геологии.

Уже неоднократно подчеркивалось, что построение модели носит целевой и неалгоритмический характер. Оказывается затруднительным заранее сформулировать правила, позволяющие предпочесть одну модель другой. Приходится учитывать: возможность достижения цели, ради которой строится модель (эффективность модели) согласие модели с экспериментальными данными (эмпирическое оправдание модели), согласие с уже известными теоретическими представлениями (теоретическое оправдание модели), возможность аналитического анализа модели (простота модели), возможность вывода новых фактов (эвристическое богатство модели), возможность использования модели в различных ситуациях (общность модели) [4, 6, 15].

Мы будем считать, что построение модели входит в теоретическую постановку геологической задачи.

В случае, если модель, в указанном выше смысле, фиксирована, условимся говорить, что задача теоретической геологии замкнута.

Если дополнительно на множестве геологических тел задаются некоторые меры (например мера вероятности или важности), то условимся говорить о достроении модели множества геологических тел. С учетом сказанного, к предыдущим формальным геологическим задачам оказывается необходимым присоединить еще следующие.

А. Формальные геологические задачи в геологическом пространстве

(8)₁ Введение мер на точках.

(8)₂ Введение мер на телах.

^{*} При этом $\varphi(\vec{x})$ задается лишь таблицей $\langle \vec{x}_i, \varphi_i \rangle$, $a(X)$.

В. Формальные геологические задачи в пространстве свойств

(8)₁ Введение мер на точках.

(8)₂ Введение мер на множествах точек.

Заметим, что формальные геологические задачи, связанные с построением моделей теоретической геологии, следует рассматривать, прежде всего, в связи с задачами теоретической геологии, о которых речь шла в п. 7, но их, в принципе, можно рассматривать и самостоятельно, занимаясь построением моделей "в прок". При этом построение моделей теоретической геологии могут потребовать специальных экспериментальных работ. В таком случае вопросы оценки моделей не сколько упрощаются, оказывается достаточным учитывать лишь теоретическое оправдание, простоту, эвристическое богатство модели.

Однако никогда не следует забывать, что главное в теоретической геологии — задача, модели и методы — вспомогательные средства для решения задач.

Представляется важным подчеркнуть вопросы сопоставления между собой детерминированных и вероятностных моделей, вопрос, которому сейчас уделяется много слов. По-видимому, сравнить между собой детерминированную модель множества объектов теоретической геологии с вероятностной можно только тогда, когда вторая является достроением первой. Из того факта, что вторая модель оказывается более оправданной эмпирически, чем первая, не вытекает всегда преимущество второй перед первой [4, 6].

13. Условимся две задачи теоретической геологии, относящиеся к одному типу, считать относящимися к одному виду, если они замкнуты одной и той же моделью.

Подчеркнем, что тип задачи теоретической геологии определяется преследуемой целью, а вид — используемой моделью, которая, кроме прочего, тоже зависит от преследуемой цели. Итак, фактически грубую типизацию задач теоретической геологии мы свели к различению их по целям и моделям теоретической геологии. Ясно, что в дальнейшем потребуются детализация и уточнение представлений о целях и моделях теоретической геологии.

14. Заметим, что в некоторых случаях оказывается полезным типизация задач теоретической геологии по способам эмпирической проверки их решений. Решения некоторых задач можно оценить непосредственными наблюдениями. Решения же других задач можно проверить только косвенно, подтверждая наблюдениями следствия, вытекающие из данного решения. Для некоторых задач невозможность прямой проверки решений вызвана причинами принципиального характера. Таким образом, по способам проверки решений нужно различать два типа задач теоретической геологии: непосредственно и косвенно проверяемые задачи. Косвенно проверяемые задачи, как правило, имеют много решений. Выбор наилучшего решения в этих задачах сопряжен со значительными трудностями.

Полезно также в некоторых случаях типизация задач теоретической геологии по формальному характеру результата (высказывание, номер, число, совокупность чисел, кривая, поверхность и др.) и способу использования результата (для принятия решений в формальной схеме, для конструирования суждений в неформальной схеме).

15. Введем представление о дополнительных и вспомогательных формальных задачах геологии. Часто оказывается, что для достижения указанных в п. 7 целей необходимо, кроме построения моделей, провести экспериментальные данные к некоторому специальному виду или обеспечить их дополнительное получение^{*}). В связи с этим возникают два дополнительных вида формальных геологических задач:

(1)_I Преобразование экспериментальных данных.

(2)_I Направление экспериментов.

Заметим, что от решения этих дополнительных формальных геологических задач, как правило, очень сильно зависит решение задач теоретической геологии [6].

Поскольку нам приходится в процессе постановки и решения задачи хранить данные, искать и передавать их, а также подвергать визуальному анализу, возникает четыре вида вспомогательных формальных задач геологии:

(1)₂ Хранение экспериментальных данных.

(2)₂ Поиск экспериментальных данных.

^{*} Мы здесь не рассматриваем формальные задачи, связанные с исследованием моделей.

(3)₂ Передача экспериментальных данных.

(4)₂ Представление экспериментальных данных в виде, удобном для визуального анализа.

Аналогично предыдущему, решение дополнительных и вспомогательных формальных задач геологии сводится к представлению их в виде последовательности известных математических задач или их грубых аналогов. Причем, например, для задач (2)₁ такое представление оказывается связанным с очень большими теоретическими трудностями [6].

16. Если построить аналоги всех перечисленных задач (теоретической геологии, формальных геологических, дополнительных и вспомогательных формальных геологических) на различных геологических диалектах, то можно убедиться в том, что:

во-первых, о их эффективном решении можно говорить лишь в ситуациях, о которых речь шла в п. 3.

во-вторых, они имеют своих двойников в различных областях знаний: в географии, в экономике, в биологии, в физике и др. Как можно надеяться, они имеют многие существенные детали, такие же, как у двойников, хотя, возможно, и имеют детали, отличающие их от этих двойников.

17. Следует считать, что математическая постановка любой задачи теоретической геологии заключается в:

(1) Описании на языке теоретической геологии заданной ситуации в соответствии со схемой п. 3.

(2) Представлении этой задачи в виде последовательности формальных, формальных дополнительных и вспомогательных задач.

(3) Представлении этой задачи в виде графа известных математических задач или их грубых аналогов (одна и та же математическая задача может встречаться несколько раз).

Математическая постановка любой задачи теоретической геологии должна входить в компетенцию раздела теоретической геологии, отвечающего соответствующему типу задачи. Этот раздел должен содержать в себе способы сравнения и критерии выбора оптимальных математических постановок.

При указанном выше толковании математической постановки задачи теоретической геологии мы исходим из соображений

А. И. Колмогорова о том, что решение задачи, в любой области знаний, заключается в сведении ее к уже решенным математическим задачам.

К настоящему моменту у нас имеются лишь некоторые элементарные теоретические представления, позволяющие надеяться на получение математической постановки задач теоретической геологии типа (I), когда речь идет о построении y по экспериментальным данным \vec{X} [4], и типа (8), когда речь идет о поиске полезных ископаемых [6], (смотри п. 7).

18. Как можно убедиться [4], при построении y по экспериментальным данным \vec{X} , следует выделить два случая:

во-первых, случай, когда y является арифметической величиной, и,

во-вторых, случай, когда y является логической величиной.

В первом случае говорят о построении функции y по экспериментальным данным \vec{X} , во втором - о распознавании y по экспериментальным данным \vec{X} .

В первом случае дело сводится:

(1) К разбиению множества свойств \vec{X} на три подмножества:

\vec{X}_1 - распознающие свойства, \vec{X}_2 - группирующие свойства,

\vec{X}_3 - лишние свойства (к выбору типа функции $y = f_{\vec{X}_2}(\vec{X}_1, A)$).

Это предполагает наличие критериев разбиения \vec{X} , которые пока еще спорны [16].

(2) К выбору вида функции $y = f(\vec{X}_1, \vec{A})$. Такой выбор предполагает задание исходного множества видов функции

$F(\vec{X}_1, A)$ и наличие критерия выбора. Пока еще нет способов разумной фиксации $F(\vec{X}_1, \vec{A})$ и общепринятых критериев выбора.

(3). К выбору критерия h для оценки параметров \vec{A} функции $y = f(\vec{X}_1, \vec{A})$. Такой выбор предполагает задание исходного множества критериев H и наличие критерия l для выбора критерия.

(4) К построению алгоритма оценивания параметров \vec{A} , который удовлетворял бы некоторым разумным требованиям. Это предполагает фиксацию этих требований, их упорядочение по важно -

сти.

(5) К исследованию и использованию функции $y = f(\vec{x}_1, \vec{A})$. Отмеченное показывает, что даже в этом простейшем случае сведение задачи к графу известных математических задач оказывается весьма трудным и спорным делом. При этом, как представляется, главное при выборе оптимального способа сведения заключается в учете того, как далее используется функция $y = f(\vec{x}_1, \vec{A})$.

Важно заметить, что при выполнении операции (1), например, при выделении распознающих свойств, нам фактически приходится решать задачу типа (7), п. 7 конструировать объект-совокупность распознающих свойств. При выполнении же операции (2) фактически приходится решать задачу типа (8), п. 7. Это обстоятельство показывает, что задачи (0)–(8), п. 7, тесно переплетаются между собой, они не встречаются по отдельности. Пока только условно можно сравнить их по простоте.

Во втором случае, распознавании, трудности сведения задачи к графу известных математических задач оказываются еще большими. При этом возникает вопрос и том, при каких условиях такое сведение разумно [6], (стр. 28–35).

19. О тех трудностях, которые возникают при сведении задачи теоретической геологии типа (8), п. 7, задачи поиска, к графу известных математических задач, можно судить по элементам теории поиска полезных ископаемых, изложенных в [6]. Легко видеть, что основные элементы этой теории пригодны для поисков любых объектов. Оказывается, что иногда необходимо вводить представления о специальных формальных задачах (например, выделения, разделения, упорядочения и оценивания [6]). Иначе говоря, внутри отдельных типов задач теоретической геологии может оказаться целесообразным свое особое введение представлений о формальных, вспомогательных и дополнительных геологических задачах.

20. По-видимому, имеет смысл коснуться очень важного и очень спорного вопроса о задачах и подзадачах, формулируемых сейчас на различных геологических диалектах.

Когда мы пытаемся поставить и решить, положим, задачу вы-

деления сигнала на фоне помех, отвлекаясь от прочих вопросов, мы сталкиваемся с возможностью различным образом толковать сигнал и помеху, разными способами постановки и решения этой задачи. Для выбора какой-либо одной возможности ранее прибегали к некоторым общим представлениям о сигнале и помехе. Сейчас почти всем стало ясно, что такой путь, независимо от применяемого математического аппарата, ведет в никуда. Оказалось, что понятие о сигнале и помехе нельзя сформулировать в отрыве от задачи, ради которой мы решаем задачу выделения сигнала на фоне помех. Одна и та же особенность может выступать и как сигнал, и как помеха. Оказывается, что задачу выделения сигнала на фоне помех нельзя рассматривать как самостоятельную задачу, ее необходимо рассматривать как подзадачу некоторой другой задачи. По-видимому, то же самое можно сказать о задачах выделения геофизических и геохимических аномалий, задачах классифицирования и районирования всех видов, задачах построения любых разрезов, профилей и карт. Возникает проблема отличия задач от подзадач. Являются ли задачи изучения цикличности осадочных толщ, закономерностей образования и размещения полезных ископаемых, строения земной коры, структуры и вещественного состава регионов и пр. задачами или подзадачами? Видимо, этот вопрос, решение которого может предохранить нас от бессмысленных математических упражнений, можно решать только на основе специальных исследований теоретической геологии. Проблема ложных задач сейчас для нас проблема номер один. Если мы убедились, что некоторая задача является подзадачей другой задачи, то, конечно, совершенно недостаточно просто назвать эту задачу (например, сказать, что строение земной коры изучается с целью поисков полезных ископаемых). Необходимо вначале поставить эту задачу, а затем перейти к постановке подзадачи. Одним из критериев, отличающих задачу от подзадачи, является, по-видимому, возможность различным образом строить показатели качества решения. Если оказывается возможным многими существенно различными способами определить показатели качества решения, то мы имеем дело с подзадачей.

21. В заключение хотелось бы подчеркнуть и несомненную практическую пользу, которую можно сейчас получить, занимаясь задачами теоретической геологии с указанных позиций. Мы

получаем возможности видеть истинные трудности применения математических методов в геологии. Это позволяет надеяться, что мы научимся их преодолевать. Кроме того, это дает некоторые шансы в борьбе с "математиками". (Как известно сейчас подавляющее число практических задач является задачами диагноза, схема решения которых приводилась в п. 18. Как легко убедиться, некоторые работают так: операции (1), (2) и (3) выполняются на основе словесных общих рассуждений, а для операций (4) и (5) привлекается математический аппарат, максимальный по сложности).

Л и т е р а т у р а

1. БОНДАРЕНКО В.Н. Статистические методы решения некоторых задач геологии. М., "Недра", 1970.
2. ВИСТЕЛИУС А.Б. Математическая геология. Статья в реферативном систематическом указателе "Математическая геология". Л., 1969.
3. ВОРОНИН Ю.А., АЛАБИН Б.К., ГОЛЬДИН С.В. и др. Геология и математика. Новосибирск, "Наука", 1967.
4. ВОРОНИН Ю.А., АМЕЛЬКИН В.А., ХУРРАМОВ А.Д. О математическом обеспечении ЭВМ для решения задач построения функций по экспериментальным данным. - Сб. Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых, Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1972.
5. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск, "Наука", 1974.
6. ВОРОНИН Ю.А. Программа и методические разработки к курсу "Теория поисков полезных ископаемых", Алма-Ата, Ротапринт КОМЭ МГ Каз.ССР, 1975.
7. ГЗОВСКИЙ М.В. Математика в геотектонике. М., "Недра", 1971.
8. ГЛАГОЛЕВ А.А. Морфо-гранулометрический анализ массивных

агрегатов (Горные породы, сплавы, керамика). Изд. АН Каз.ССР Алма-Ата, 1950.

9. КОСЫГИН Ю.А., ВОРОНИН Ю.А. Геологическое пространство как основа структурных построений. Статьи 1,2 и 3. - "Геология и геофизика", 1965, № 9-II.
10. КОСЫГИН Ю.А. Методологические вопросы системных исследований в геологии. - "Геотектоника", 1970, № 2.
11. КОСЫГИН Ю.А. Основы тектоники. М., "Недра", 1974.
12. КРАМБЕЙН У., ГРЕЙБИЛЛ Ф. Статистические модели в геологии. М., "Мир", 1969.
13. КРАМБЕЙН У. и др. Модели геологических процессов. Введение в математическую геологию. М., "Мир", 1973.
14. ЛАНДАУ Л.Л., ЛИФШИЦ Е.М. Теоретическая физика, т. II. Теория поля. М., "Наука", 1967.
15. МАМЧУР С.А. Проблема выбора теории. М., "Наука", 1975.
16. МАРАСУЛОВ А.Ф. Введение показателя с целью выбора оптимальной подгруппы при индивидуальном подходе к решению задачи распознавания. - Сб. Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых, Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974.
17. МИЛЛЕР Р.Л., КАН Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. М., "Мир", 1965.
18. ПОГРЕБЕЦКИЙ Б.О., ТЕРНОВОЙ В.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Л., "Недра", 1974.
19. ПОЙА Д. Математическое открытие. М., "Наука", 1970.
20. РАЦ М.В. Структурные модели в инженерной геологии. М., "Недра", 1973.
21. РАДИОНОВ Д.А. Статистические методы разграничения геоло-

гических объектов по комплексу признаков. М., "Недра", 1968.

22. САЛТЫКОВ С.А. Стереометрическая металлография. М., "Металлургия", 1970.
23. СИДОРОВ В.М. Классификация геолого-математических задач. (Теоретические вопросы математического обеспечения ЭВМ). РИО ИК АН УССР, Киев, 1972.
24. Стратиграфия и математика (методологические, теоретические и организационные вопросы, связанные с применением математических методов и ЭВМ в стратиграфии). Хабаровское книжное изд., 1973.
25. УСМАНОВ Ф. А. О классификации геологических задач на нахождение - отношений и прогнозирования полезных ископаемых. - В сб. : Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1973.
26. ФЕДЫНСКИЙ В.В. Разведочная геофизика. М., "Недра", 1967.
27. ФОТИАДИ Э.Э., ВОЛОХ А.С., ВОРОНИН Ю.А. и др. Некоторые общие вопросы создания АСУ-Геология. - В сб. : Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1972.
28. ХАРБУХ Дж., БОНЕМ-КАРТЕР Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. М., "Мир", 1974.
29. ШИХАНОВИЧ Ю.А. Введение в современную математику. М., "Наука", 1965.

Ф.А.Усманов

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МАТЕМАТИЗАЦИИ СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Применению математических методов для описания структур геологических объектов посвящена обширная литература. Однако общему теоретическому исследованию математических свойств геологических структур уделяется недостаточно внимания.

Ряд фундаментальных понятий структурной геологии с логико-математических позиций обсуждался в работах [1,8,9,10]. Сформулированные в них определения геологических границ, тел и структур обладают большой общностью, достаточной строгостью и использованы в дальнейшем изложении. Общие вопросы математического описания геологических структур рассмотрены в [1,2,11,12]. В работах [1-5] впервые для математического описа-

ния геологических структур были применены бинарные отношения между геометрическими объектами и рассмотрены некоторые вопросы, созвучные с теми, которые обсуждаются ниже. В работе [1], в частности, отмечалось, что геологическую структуру математически можно описывать характеристиками формы, размеров, координат центров масс и ориентации структурных элементов, а также некоторым множеством бинарных отношений, характеризующих взаимное расположение этих элементов. Математическая постановка и возможные пути решения отдельных задач, возникающих при исследовании структур сложных геологических тел, обсуждались в [4, 5].

Изучение опыта по выделению, систематике и описанию геологических структур, опыта создания математически строгой теории структур кристаллов, а также результаты перечисленных выше работ по формализации понятий структурной геологии приводит к выводу, что в основу математической (абстрактной) теории геологических структур нужно положить пространственные бинарные отношения между телами, поверхностями и линиями, подобранные таким образом, чтобы через них можно было бы определить всевозможные геологические структуры. При этом все геологические структуры будут определены через ограниченное число элементарных бинарных отношений между геометрическими объектами и, следовательно, будет обеспечено единство теории и возможность сопоставления структур.

Реализация этой обширной программы, очевидно, потребует объединенных усилий большого числа математиков и геологов. Однако предварительно должны быть исследованы вопросы ее практической осуществимости и перспективности. В порядке опыта можно было бы попытаться выделить небольшое число основных бинарных отношений на множествах тел в трехмерном евклидовом пространстве R^3 , отвечающих основным типам структурных отношений между геологическими телами и затем, комбинируя их различным образом, построить множества тел в R^3 , со структурами, соответствующими тем или иным геологическим структурам. Автором была предпринята такая попытка. В работе [15] приведены определения основных бинарных отношений между геологическими телами и результаты исследования их математических свойств. В настоящей работе, на примере достаточно простых и в то же

время широко распространенных структур геологических объектов, показаны связи выделенных бинарных отношений с геологическими структурами. Эти связи использованы для исследования математических свойств рассмотренных структур.

Все определения и утверждения сформулированы для множеств закрытых связных областей (тел) в трехмерном евклидовом пространстве, которые можно рассматривать как геометрические модели систем геологических тел.

Кроме терминов и обозначений, обычно применяемых в математической логике, теории множеств и теории графов (содержащиеся, например, в работах [6, 7, 13, 16, 17, 18]), использованы также следующие. $\varphi_M = \langle \Phi, M \rangle$ - произвольное бинарное отношение φ на множестве тел $M = \{A_i\}$, $i = 1, 2, \dots, k$; $\Phi \subseteq M \times M$. $A_i \varphi A_j$ - тело A_i находится в отношении φ к телу A_j . $\varphi_1 \cup \varphi_2 = \langle \Phi_1 \cup \Phi_2, M \rangle$ - объединение отношений $\varphi_1 = \langle \Phi_1, M \rangle$ и $\varphi_2 = \langle \Phi_2, M \rangle$. $\varphi_1 \cap \varphi_2 = \langle \Phi_1 \cap \Phi_2, M \rangle$ - пересечение отношений $\varphi_1 = \langle \Phi_1, M \rangle$ и $\varphi_2 = \langle \Phi_2, M \rangle$. $\varphi_1 \circ \varphi_2 \circ \dots \circ \varphi_n$ - произведение (композиция) отношений $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$, заданных на множестве M . В частном случае при $\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_n$, $\underbrace{\varphi \circ \varphi \circ \dots \circ \varphi}_n = \varphi^n$. Отношение $\varphi_1 \circ \varphi_2 \circ \dots \circ \varphi_n$ выполняется тогда и только тогда, когда существует такая последовательность A_1, A_2, \dots, A_{n-1} ; $A_1 \in M$, $1 = 1, 2, \dots, n-1$, что $A_1 \varphi_1 A_1, A_1 \varphi_2 A_2, \dots, A_{n-1} \varphi_n A_j$; $\hat{\varphi} = \varphi \cup \varphi^2 \cup \varphi^3 \cup \dots$ - транзитивизация (транзитивное замыкание) отношения φ . $\varphi_1 \subseteq \varphi_2$ - "отношение φ_1 включается в отношение φ_2 " ($\Phi_1 \subseteq \Phi_2$). φ^{-1} - обращение (инверсия) отношения φ , $(A_i \varphi^{-1} A_j) \stackrel{Df}{\iff} (A_j \varphi A_i)$. $\bar{\varphi}$ - дополнение к отношению φ , $(A_i \bar{\varphi} A_j) \stackrel{Df}{\iff} (A_i \varphi A_j)$. $\varphi_1 \setminus \varphi_2 = \langle \Phi_1 \setminus \Phi_2, M \rangle$ - разность отношений $\varphi_1 = \langle \Phi_1, M \rangle$ и $\varphi_2 = \langle \Phi_2, M \rangle$. E_M - отношение равенства на множестве тел M . $O_M = \langle \emptyset, M \rangle$ - пустое отношение на множестве M . $\Theta_M = \langle M^2, M \rangle$ - полное отношение на множестве M .

Приведем названия, обозначения и определения используемых в дальнейшем бинарных отношений между двумя произвольными телами A_i и A_j в трехмерном евклидовом пространстве R^3 (*).

* Пояснения к этим определениям можно найти в работе [15].

$I. \alpha$ - отношение изолированности, $A_i \alpha A_j$ - "тела A_i и A_j не имеют общих точек", $(A_i \alpha A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} [(A_i \cap A_j) = \emptyset]$, где \emptyset - пустое множество. 2. β - отношение соприкосновения, $A_i \beta A_j$ - "тела A_i и A_j соприкасаются", $(A_i \beta A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{[(A_i \cap A_j) \neq \emptyset] \wedge [v(A_i \cap A_j) = 0]\}$, где $v(A_i \cap A_j)$ - объем множества $A_i \cap A_j$. 3. σ - отношение контактирования, $A_i \sigma A_j$ - "тела A_i и A_j контактируют", $(A_i \sigma A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} [(A_i \cap A_j) = p]$, где p - поверхность или части поверхности в R^3 . 4. σ_1 - отношение вмещающего контактирования, $A_i \sigma_1 A_j$ - "тела A_i и A_j контактируют по замкнутой поверхности, на внутреннюю сторону от которой расположено тело A_j ;", $(A_i \sigma_1 A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{[(A_i \cap A_j) = q] \wedge (A_j \subseteq D_q)\}$, где q - замкнутая поверхность, D_q - область в R^3 , ограниченная поверхностью q . 5. γ - отношение совместимости, $A_i \gamma A_j$ - "тела A_i и A_j имеют общую часть", $(A_i \gamma A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{[(A_i \cap A_j) \neq \emptyset] \wedge [v(A_i \cap A_j) \neq 0]\}$. 6. γ_1 - отношение частичной совместимости, $A_i \gamma_1 A_j$ - "тела A_i и A_j имеют общую часть, не совпадающую полностью ни с одним из них", $(A_i \gamma_1 A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{[(A_i \cap A_j) = D] \wedge (D \neq A_i) \wedge (D \neq A_j)\}$, где D - область трехмерного евклидова пространства R^3 . 7. γ_2 - отношение включения, $A_i \gamma_2 A_j$ (или $A_i \supseteq A_j$) - "тело A_i включает тело A_j " (тела A_i и A_j имеют общую часть, совпадающую с телом A_j), $(A_i \gamma_2 A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{[(A_i \cap A_j) = D] \wedge (D = A_j)\} \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} (A_i \supseteq A_j)$. 8. η - отношение вмещения, $A_i \eta A_j$ - "тело A_i вмещает тело A_j " ("существует замкнутая поверхность q такая, что любая точка этой поверхности принадлежит телу A_i и область, ограниченная этой поверхностью, включает тело A_j "), $(A_i \eta A_j) \stackrel{Df}{\Leftrightarrow} \{\exists q[(q \subset A_i) \wedge (A_j \subseteq D_q)]\}$, где q - замкнутая поверхность в R^3 , D_q - область в R^3 , ограниченная поверхностью q .

Приведенные выше определения позволяют вводить соответствующие отношения на множестве тел M в R^3 как упорядоченную пару множеств $\Phi_M = \langle \Phi, M \rangle$, $\Phi \subseteq M \times M$, где Φ - множество упорядоченных пар тел из M , для которых выполнено отношение Φ .

Рассмотрим множества тел, удовлетворяющие некоторым условиям (зададим их структуры), и свойства введенных выше бинарных отношений на этих множествах.

О п р е д е л е н и е 1. Множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 будем называть связным множеством тел или множеством неизолированных тел, если объединение всех тел этого множества есть связная область, то есть, если для M выполняется условие: $\bigcup_{A_i \in M} A_i = D$, где D — некоторая связная

область трехмерного евклидова пространства R^3 .

О п р е д е л е н и е 2. Множество тел M в R^3 будем называть плотным множеством тел, если объединение всех тел множества M $D = \bigcup_{A_i \in M} A_i$, есть тело, ограниченное одной замкнутой

поверхностью. Из определений 1 и 2 следует, что любое плотное множество тел является связным множеством тел.

Выделим несколько видов связных множеств тел.

О п р е д е л е н и е 3. Множество тел M в R^3 будем называть множеством соприкасающихся тел, если оно связно и отношение совместимости γ_M на этом множестве M равно отношению равенства E_M , то есть если для M выполняются условия:

$$\bigcup_{A_i \in M} A_i = D, \gamma_M = E_M.$$

О п р е д е л е н и е 4. Множество тел M в R^3 будем называть множеством контактирующих тел, если оно связно и разность отношения неизолированности $\tilde{\alpha}_M$ и контактирования σ_M равна отношению равенства E_M , то есть если для M выполняются условия:

$$\bigcup_{A_i \in M} A_i = D, \tilde{\alpha}_M \setminus \sigma_M = E_M.$$

О п р е д е л е н и е 5. Множество тел M в R^3 будем называть множеством совмещающихся тел, если оно связно и отношение соприкосновения β_M на этом множестве M равно пустому отношению O_M , то есть если для M выполняются условия:

$$\bigcup_{A_j \in M} A_j = D, \beta_M = O_M.$$

Поскольку отношение контактирования σ включается в отношение соприкосновения β (согласно их определениям), то множество контактирующих тел также является множеством соприкасающихся тел.

Ниже будет показано, что названия выделенных множеств тел подобраны так, что они согласуются с основными свойствами этих множеств.

Связное множество тел в R^3 (множество соприкасающихся или совмещающихся тел) соответствует множеству геологических тел, образующих сложное тело по Ю.А.Воронину и др. [1].

Примерами систем геологических тел, соответствующих плотному и неплотному множествам контактирующих тел в R^3 являются системы зерен образцов пород, соответственно, с компактной (плотной) и пористой структурой [14].

Рассмотрим свойства отношений неизолированности $\bar{\alpha}$ соприкосновения β и совместимости γ на связных множествах тел. Отметим сначала, что согласно определениям отношений изолированности α соприкосновения β и совместимости γ для произвольного множества тел M выполняются равенства:

$$\alpha_M \cup \beta_M \cup \gamma_M = \Theta_M, \quad \alpha_M \cap \beta_M = O_M, \quad (1)$$

$$\alpha_M \cap \gamma_M = O_M, \quad \beta_M \cap \gamma_M = O_M. \quad (2)$$

Из этих равенств, в частности, следует:

$$\bar{\alpha}_M = \beta_M \cup \gamma_M, \quad (3)$$

то есть отношение неизолированности $\bar{\alpha}$ выполнено для тех и только для тех пар тел, для которых выполнено либо отношение соприкосновения β либо отношение совместимости γ . Поэтому, во всех нижеследующих утверждениях отношение неизолированности и его транзитивизацию $\hat{\alpha}$ можно заменить, соответственно, объединением отношений соприкосновения и совместимости $\beta \cup \gamma$ транзитивизацией этого объединения $\beta \cup \gamma$.

Л е м м а I. Множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 связано тогда и только тогда, когда транзитивизация $\hat{\alpha}$ отношения неизолированности $\bar{\alpha}$ на этом множестве равна полному отношению.

На основании определения I и равенства (3) это утверждение можно записать в форме следующих эквиваленций:

$$\left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D \right) \Rightarrow (\hat{\alpha}_M = \theta_M) \Rightarrow (\hat{\beta}_M \cup \gamma_M = \theta_M), \quad (4)$$

где M — произвольное множество тел в R^3 , D — некоторая связная область трехмерного евклидова пространства R^3 .

На языке теории графов лемму I можно сформулировать так: множество тел M связно тогда и только тогда, когда граф отношения неизолированности на этом множестве M есть связный граф (для любых двух различных вершин существует соединяющая их цепь)^ж).

С л е д с т в и е I. Из определений и леммы I следует, что, если на множестве тел M в R^3 транзитивизация одного из отношений: соприкосновения β_M , контактирования σ_M и совместности γ_M равна полному отношению θ_M , то множество тел M — связное.

Т е о р е м а I. Множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 является множеством соприкасающихся тел, тогда и только тогда, когда на этом множестве транзитивизация $\hat{\beta}_M$ отношения соприкосновения β_M равна полному отношению θ_M и для любых двух различных тел множества M выполнено отношение соприкосновения β_M или отношение изолированности α_M . Учитывая определение 3 множества соприкасающихся тел, теорему I можно записать в следующей форме:

$$\left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D \right) \wedge (\gamma_M = \theta_M) \Rightarrow (\hat{\beta}_M = \theta_M) \wedge (\beta_M \cup \alpha_M = \theta_M \setminus E_M), \quad (5)$$

где M — произвольное множество тел, D — некоторая связная область трехмерного пространства R^3 .

В терминах теории графов теорему I можно сформулировать следующим образом. Множество тел M в R^3 является множеством соприкасающихся тел в том и только в том случае, когда граф отношения соприкосновения β_M на множестве M связный, а объединение $\beta_M \cup \alpha_M$ отношений соприкосновения β_M и изолированности α_M есть полный граф.

^ж) Из-за ограниченности объема работы доказательства теорем, лемм и следствий не приводятся.

С л е д с т в и е 2. Множество тел в трехмерном евклидовом пространстве R^3 является множеством контактирующих тел тогда и только тогда, когда на множестве M транзитивизация $\hat{\sigma}_M$ отношения контактирования σ_M равна полному отношению θ_M и для любых двух различных тел множества M выполнено отношение контактирования σ_M или отношение изолированности α_M . Используя определение 4, это утверждение можно записать в форме эквиваленции:

$$\left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D \right) \wedge (\hat{\sigma}_M \setminus \sigma_M = E_M) \Rightarrow (\hat{\sigma}_M = \theta_M) \wedge (\alpha_M \cup \sigma_M = \theta_M \setminus E_M), \quad (6)$$

где M и D те же, что и для (5).

Из леммы I, теоремы I и следствий I и 2 видно, что определения I, 3, 4, 5 могут быть заменены равносильными определениями, сформулированными через соответствующие бинарные отношения.

Рассмотрим некоторые, наиболее важные для практических приложений, классы множеств тел в трехмерном евклидовом пространстве R^3 , свойства которых связаны с отношениями вмещения η вмещающего контактирования σ_1 и включения γ_2 .

Отношение вмещения η на произвольном множестве тел M обладает свойствами антирефлексивности, асимметричности и транзитивности, то есть является отношением строгого порядка. Однако, свойством связности это отношение обладает не на всяком множестве тел. Если отношение вмещения η на данном множестве тел связно, тогда оно на этом множестве, является отношением совершенного строгого порядка. Из этого и из известной теоремы теории бинарных отношений о совершенном строгом порядке [18], вытекает следующая

Л е м м а 2. Если множество тел M в R^3 такое, что для любых двух различных тел $A_i, A_j \in M$ либо A_i вмещает A_j , либо A_j вмещает A_i , то на множестве M можно выбрать такую нумерацию тел $M = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, что тело A_i вмещает тело A_j ($A_i \eta A_j$) тогда и только тогда, когда номер j тела A_j меньше номера i тела A_i .

Таким образом A_1 вмещается всеми телами множества M , а A_k вмещает все тела множества M , каждое предыдущее по номеру тело вмещается всеми последующими телами. Тело A_1 , естест-

венно назвать центральным, а A_K — периферическим.

О п р е д е л е н и е 6. Множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 будем называть множеством тел, совершенно строго упорядоченном по отношению вмещения η , если для любых различных тел $A_i, A_j \in M$ либо A_i вмещает A_j , либо A_j вмещает A_i , то есть если $\eta_M \cup \eta_M^{-1} = \Theta_M \setminus E_M$.

Граф отношения вмещения η на множестве тел, совершенно строго упорядоченном по этому отношению, в соответствии с леммой 2 имеет следующий вид (при числе тел равном 4):

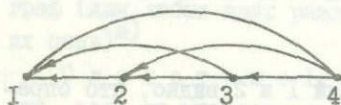


Рис. I

В качестве примера подобных множеств тел в можно привести геометрическую модель множества "концентрически-зональных" геологических тел; совокупности оболочек и ядра Земли, множества зон в зональном кристалле и лю-

бых двух- и более элементарных подмножеств этих множеств.

Т е о р е м а 2. Множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 является множеством тел, совершенно строго упорядоченным по отношению вмещения η и множеством контактирующих тел (короче, множеством контактирующих тел, упорядоченных по отношению вмещения η) в том и только в том случае, когда транзитивизация $\widehat{\sigma_{1,M} \cup \sigma_{1,M}^{-1}}$ объединения отношения вмещающего контактирования $\sigma_{1,M}$ и его инверсии $\sigma_{1,M}^{-1}$ на этом множестве равна полному отношению (то есть когда любая пара тел $A_i, A_j \in M$ входит в некоторую цепочку тел, такую, что соседние тела в ней находятся либо в отношении вмещающего контактирования $\sigma_{1,M}$, либо в отношении вмещаемого контактирования $\sigma_{1,M}^{-1}$).

Используя определения множества тел, упорядоченного по отношению вмещения η , и множества контактирующих тел, теорему 2 можно записать в виде эквиваленции:

$$\left(\widehat{\sigma_{1,M} \cup \sigma_{1,M}^{-1}} = \Theta_M \right) \Leftrightarrow \left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D \right) \wedge \left(\bar{\sigma}_M \setminus \sigma_M = E_M \right) \wedge \left(\eta_M \cup \eta_M^{-1} = \Theta_M \setminus E_M \right), \quad (7)$$

где D — связная область в R^3 .

С л е д с т в и е 3. Если на множестве тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 транзитивизация $\widehat{\sigma_{1,M} \cup \sigma_{1,M}^{-1}}$

объединения отношения вмещающего контактирования $\sigma_{1,M}$ и его инверсии $\sigma_{1,M}^{-1}$ равна полному отношению Θ_M и M является плотным множеством тел, то: 1) тела множества M можно пронумеровать таким образом $M = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, что A_1 находится в отношении вмещающего контактирования к телу A_{i-1} ($i=2, 3, \dots, k$), 2) все тела, кроме центрального A_1 , ограничены двумя замкнутыми поверхностями — внешней и внутренней, 3) внешняя поверхность тела A_{i-1} является внутренней поверхностью тела A_i ($i = 2, 3, \dots, k$).

Граф отношения вмещающего контактирования на множестве тел, удовлетворяющих указанным условиям, имеет вид, показанный на рис. I.

Т е о р е м а 3. Если на множестве тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 объединение $\gamma_{2,M} \cup \gamma_{2,M}^{-1}$ отношения включения $\gamma_{2,M}$ и его инверсии $\gamma_{2,M}^{-1}$ связно, то M является множеством тел, упорядоченным по отношению вмещения η и множеством совмещающихся тел.

Условие теоремы означает, что для любых двух различных тел $A_i, A_j \in M$ справедливо, что либо A_j включает A_i либо A_i включает A_j . На основании определений 5 и 6 теореме 3 можно написать в форме следующей импликации:

$$(\gamma_{2,M} \cup \gamma_{2,M}^{-1} = \Theta_M \setminus E_M) \Rightarrow \left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D \right) \wedge (\beta_M = 0) \wedge (\eta_M \cup \eta_M^{-1} = \Theta_M \setminus E_M),$$

где D — некоторая связная область в R^3 .

О п р е д е л е н и е 7. Множество тел $M = \{A_i\}$ в трехмерном евклидовом пространстве R^3 будем называть множеством, состоящим из вмещаемых тел и одного вмещающего тела, если существует одно и только одно тело A_0 , принадлежащее множеству M которое вмещает все остальные тела множества M и для любой пары, не совпадающих с A_0 тел $\langle A_i, A_j \rangle$, $A_i, A_j \in M$, $A_i \neq A_0$, $A_j \neq A_0$, не выполнено отношение вмещения η или его инверсия η^{-1} , то есть, если для множества тел M выполнены условия: $(\forall A_i \in M_1)(A_0 \eta A_i)$, где $M_1 = M \setminus M_0$, M_0 — множество, которому принадлежит только тело A_0 ;

$(\forall \langle A_i, A_j \rangle \in M_1^2)[(A_i \bar{\eta} A_j) \wedge (A_j \bar{\eta} A_i)]$, где $\bar{\eta}$ — дополнение к отношению вмещения η то есть $(A_i \eta A_j) \Leftrightarrow \neg (A_i \bar{\eta} A_j)$.

Граф отношения вмещения η на множестве тел, удовлетворяющих этим условиям характеризуется следующими особенностями: из одной вершины (точки сочленения) выходят дуги, соединяющие ее со всеми остальными вершинами, которые не являются смежными. На рис.2 показан такой граф для 6-ти элементного множества (тело I вмещает все остальные тела).

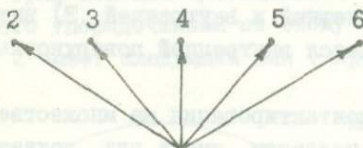


Рис.2

Множества геологических тел, геометрические модели которых являются множествами, состоящими из вмещаемых тел и одного вмещающего тела, имеют широкое распространение. Сюда относятся образцы пород с порфировой структурой (если основную массу можно рассматривать как одно тело), кристаллы с включениями, интрузивные тела с ксенолитами и т.п. Сюда относятся также гетерогенные (многокомпонентные) системы, известные под названием матричных систем. Следующая лемма связывает свойства структур подобных систем с некоторыми введенными выше понятиями.

Л е м м а 6. Если множество тел M в трехмерном евклидовом пространстве R^3 такое, что существует одно тело A_0 которое находится в отношении вмещающего контактирования σ_1 ко всем остальным множествам M то: 1) M — есть множество контактирующих тел; 2) M — есть множество, состоящее из вмещаемых тел и одного вмещающего тела.

В соответствии с определениями 4 и 7 лемму 6 можно записать в виде следующей импликации:

$$[(\forall A_i \in M_1)(A_0 \sigma_{1, M} A_i)] \Rightarrow [(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D) \wedge (\bar{\alpha}_M \setminus \sigma_M = E_M)] \wedge \\ \wedge [(\forall A_i \in M_1)(A_0 \eta A_i)] \wedge [(\forall \langle A_i, A_j \rangle \in M_1^2)(A_i \bar{\eta} A_j) \wedge (A_j \bar{\eta} A_i)],$$

где D — как и раньше, связная область в R^3 ; $M_1 = M \setminus M_0$, M — множество, которому принадлежит только одно тело A_0 .

Л е м м а 7. Пусть M — множество тел в трехмерном евклидовом пространстве R^3 , обладающее свойствами: 1) M — плотное множество тел, 2) M — множество контактирующих тел, 3) M —

множество, состоящее из вмещаемых тел и одного вмещающего тела A_0 . Тогда тело A_0 находится в отношении вмещающего контактирования ко всем остальным телам множества M . В соответствии с определениями 2, 4, 7 лемму 7 можно представить в виде следующей импликации:

$$\left(\bigcup_{A_i \in M} A_i = D' \right) \wedge (\bar{\alpha}_M \setminus \sigma_M = \bar{R}_M) \wedge [(\forall A_i \in M) (A_0 \bar{\eta}_M A_i)] \wedge$$

$$\Delta(\forall \langle A_i, A_j \rangle \in M^2) [(A_i \bar{\eta}_M A_j) \wedge (A_j \bar{\eta}_M A_i)] \rightarrow [(\forall A_i \in M) (A_0 \sigma_{1, M} A_i)],$$

где D' — тело в R^3 ограниченное одной замкнутой поверхностью, $M_1 = M \setminus M_0$, M_0 — множество, которому принадлежит только одно тело A_0 .

Выделенные классы множеств тел в трехмерном евклидовом пространстве можно рассматривать как теоретико-множественные модели геологических структур, подобных приведенным выше в качестве примеров. В сформулированных утверждениях выражаются математические свойства этих структур и их связь с простейшими бинарными отношениями между телами.

Из изложенных результатов видно, что ряд геологических структур можно определить через небольшое число элементарных бинарных отношений между телами, что позволяет математически анализировать, сопоставлять и систематизировать эти структуры.

Полученные выводы можно распространить и на более сложные бинарные отношения между телами, такие, как отношения совмещения различными преобразованиями (движением, преобразованием подобия и др.), отношения эксплицирующие понятия идиоморфизма, ксеноморфизма, а также определяемые через них структуры: складчатая, блоковая и т.п. структуры участков земной коры, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая и т.п. структуры пород и др.

Л и т е р а т у р а

И. ВОРОНИН Ю.А., АЛАБИН Б.К., ГОЛЬДИН С.В. и др. Геология и математика. Новосибирск, "Наука", 1967.

2. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Универсальная схема аналитического описания сложных геологических тел. - В кн.: Математические методы в геологии и геофизике. Тр. СНИИГТ и МС, вып.79, Новосибирск, 1968.
3. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Фации и формации. Парагенезис. Новосибирск, "Наука", 1972.
4. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВА И.А., ЕГАНОВ Э.А. К проблеме упорядочения объектов в геологии. - В сб. Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974.
5. ГОЛЬДИН С.В., ВОЛКОВ А.М., ГОЛЬДИНА Н.А. Аксиоматическая классификация залежей нефти и газа и ее применение для описания месторождений Тюменской области. - Тр. Зап.Сиб.НИГНИ, вып.29, М., "Недра", 1970.
6. ЗЫКОВ А.А. Теория конечных графов. Новосибирск, "Наука", 1969.
7. КЛИНИ С. Математическая логика. М., "Мир", 1973.
8. КОСЫГИН Ю.А., ВОРОНИН Ю.А. Некоторые фундаментальные понятия структурной геологии. - "Геотектоника", 1965, №1.
9. КОСЫГИН Ю.А., ВОРОНИН Ю.А. Геологическое пространство как основа структурных построений. Статьи 1,2,3. "Геология и геофизика", 1965, № 9-11.
10. КОСЫГИН Ю.А. Основы тектоники. М., "Наука", 1974.
11. КРЕНДЕЛЕВ Ф.П., КРЕНДЕЛЕВ С.Ф. Сопоставление структур геологии и математики. - В сб.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1973.
12. КУЛЫНДЫШЕВ В.А. Пликативные формы и дискретная математика. Хабаровск, 1973.
13. ПЕНЗОВ Ю.Е. Элементы математической логики и теории множеств. Изд. Саратовского университета, 1968.
14. ПОЛОВИНКИНА Ю.И. Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. М., "Недра", 1966.
15. УСМАНОВ Ф.А. Отношения между геологическими телами и их

математические свойства.- В сб.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых, Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974.

16. ШИХАНОВИЧ Ю.А. Введение в современную математику. М., "Наука", 1965.

17. ШРЕЙДЕР Ю.А. Алгебра бинарных отношений. Приложение к работе С.Маркуса "Теоретико-множественные модели языка". М., 1970.

18. ШРЕЙДЕР Ю.А. Равенство. Сходство. Порядок. М., "Наука", 1971.

И. П. Шаронов

О ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ГЕОЛОГИИ

"Всякое догматическое мировоззрение является хорошо действующим опдумом, притупляющим умственную одительность даже самых светлых умов".

(А. А. Любищев "Понятие системности и организменности".)

Во многих математико-геологических работах важную роль играет генетическая концепция. Необходимо выяснить ее сущность и значение. Мы сделаем это на материале одной работы [1], где эта концепция проявилась очень ярко, но прежде изложим методологические предпосылки нашего исследования.

В истории математической геологии выделяется три этапа: эмпирический (с 1899 г.), аналитический (с 1939 г.) и синтетический (с 1963 г.). Второй этап наложился на первый, а третий накладывается на второй. Ныне все они сосуществуют в виде особых научных направлений под теми же названиями [10]. Расцвет аналитического направления явился скачком в развитии математической геологии. Ожидаемая победа синтетического направ-

ления будет, по-видимому, новым скачком или даже революцией в этой области знания.

Под революцией в науке понимается смена общей концепции [11], то есть смена главной руководящей идеи, связывающей в систему все идеи данной науки.

Научное знание, как система, состоит из интуитивного и дискурсивного знания [12]. В состав первого входит внезапное озарение мысли, определение предмета исследования, постановка проблемы и формулирование (на ее основе) задач исследования. Второе, то есть дискурсивное знание, состоит из предметного и методического знания. К предметному знанию относится:

а) эмпирическое предметное знание, то есть совокупность научных фактов, их классификация и описание, и

б) теоретическое предметное знание, то есть гипотезы и теории.

Методическое знание охватывает способы создания, проверки и фиксации знания, а также освещает основные пути его использования. Если сказать коротко, то компоненты научного знания — это интуиция, факты, теории и методы [8]. Эти компоненты могут находиться в разных отношениях друг к другу. То отношение, которое приводит к появлению эмерджентного свойства знания, называется структурой или законом композиции системы. Эмерджентным свойством считается свойство целого, не вытекающее из свойств частей. Так, если в качестве целого взять сплав марганца с германием, то эмерджентным свойством будет магнитность этого сплава (напомним, что ни марганец, ни германий не магниты). Если целым, точнее, системой, считать научное знание, то его эмерджентным свойством будет способность открывать истину. Ни один из отдельно взятых компонентов знания истину дать не может (интуиция без фактов, факты без теории, теория без методов, методы без интуиции и т.д. дадут лишь предпосылки и частицы истины, но не всю истину).

Любой предмет исследования (и материальный, и нематериальный) можно считать системой, если выяснены его состав, структура и эмерджентное свойство. Если же хоть один из этих трех пунктов не ясен, системы мы не получим.

Системы бывают разного масштаба. В одном случае это вся земная кора или вся наука о ней, в другом — какой-то регион

или какое-то ответвление науки (например, математическая геология), в третьем — отдельное рудное тело или отдельная работа по математической геологии. Системой может быть и собирательное единство однородных в определенном отношении предметов (например, месторождений олова в Азии или работ по их тренд — анализу).

Выше были перечислены составные части научного знания вообще. В отдельной же работе наличие всех этих частей необязательно. Некоторые части могут просто подразумеваться. Ссылки на другие работы иногда могут заменить отсутствующую часть, но в любом случае должны быть: а) какая-то совокупность идей и б) концепция, делающая эту совокупность системой. Что же касается эмерджентного свойства, то оно непременно появится, как только появилась структура. Характер же структуры зависит от общей концепции.

Свои методы исследования математическая геология заимствует у математики, преимущественно у теории вероятностей. Естественно ожидать, что ее общая концепция будет вероятностной. Об этом говорят и сами "математизаторы" геологии, но они проявляют при этом непоследовательность. Признавая наличие стохастических процессов в природе, эти ученые в своих трудах опираются на генетическую концепцию в ее традиционном для геологии жесткодетерминистском или упрощенно-каузальном понимании (без учета явлений дивергенции и конвергенции в геологических процессах).

Диалектический материализм признает и детерминизм и каузальность, но понимает их гибко. В природе, кроме причинно-следственной (каузальной) связи диалектический материализм признает и другие разновидности связи, в частности связь стохастическую, в которой случайность является формой проявления необходимости.

Сторонники генетической концепции ("генетисты") нынешнее (наблюдаемое) состояние предмета исследования считают полностью вызванным предшествующим состоянием, а то состояние — еще более ранним состоянием и т.д. в глубь времен до момента возникновения объекта. Диалектический же материализм в этом вопросе исходит из мысли, что настоящее полностью определяется прошлым, а будущее — настоящим. В ходе развития объекта

иногда возникает нечто принципиально новое, не вытекающее из старого, а то, что вытекает из старого — весьма многообразно. В природе каждая причина дает два или большее число следствий, а каждое следствие вытекает из двух или большего числа причин. Иллюстрируя этот закон многообразия, можно сказать, что два или большее число месторождений, сходных по существенным признакам, могли образоваться разными способами, а два или большее число месторождений, образовавшихся одним, общим для них способом, могут быть не сходными между собой по существенным признакам. Так мы понимаем явления дивергенции (расхождения) и конвергенции (схождения) признаков. Генетисты понимают причинность очень узко — только как жесткодетерминистскую обусловленность, а генезис — чересчур широко — не только как рождение, но и как всю историю существования объекта. Поэтому каузальную концепцию генетисты не совсем точно называют генетической концепцией.

По генетической концепции для того, чтобы понять настоящее, необходимо сначала иметь какое-то знание прошлого. Так, познать характер размещения месторождений олова, например, можно, лишь зная их генезис — так говорят генетисты. Но как можно познать генезис, то есть прошлое? Объекты прошлого ныне не существуют. Есть лишь их следы или следы следов. Мысленно представить объект прошлого по его следам можно только на базе динамического или статистического закона развития такого объекта или его модели [3], но поскольку такие законы в геологии еще не открыты, прошлое определяется по различным, часто альтернативным гипотезам или по интуиции, то есть неоднозначно.

Генетическая концепция в геологии обычно означает путь к познанию наблюдаемого через познание ненаблюдаемого.

Гораздо надежнее другой путь: от наблюдаемого к ненаблюдаемому, но это будет другая концепция — структурная. Она состоит в утверждении того, что свойства исследуемого предмета можно познать через структуру, то есть через закон композиции системы.

Если считать, что всякая наука — это наука о взаимодействиях ^{ж)} вещей, то генетическую концепцию можно рассматривать

ж) Вещью мы называем любой предмет — как материальный, так и нематериальный.

как идею о причине взаимодействия, а структурную концепцию — как идею о законе взаимодействия. Закон взаимодействия — это знание наиболее общих черт механизма функционирования. Отсюда следует, что структурная концепция — это знание механизма взаимодействия компонентов предмета между собой и всего предмета — со средой.

Генетическая концепция не всегда, однако, ненадежна. Если предмет наблюдения в настоящее время существует и может наблюдаться, а срок его жизни соизмерим с продолжительностью жизни исследователя, то генетическая концепция может дать более или менее точное знание. С помощью этой концепции, например, можно описать и объяснить процесс отложения солей в озерах, образования оползней, солей, обвалов, просадки грунта, горных ударов, движение подземных вод и многое другое.

Если же предмет исследования сейчас уже не существует или, хотя и существует, но срок его жизни неизмеримо больше продолжительности жизни исследователя, то генетическая концепция может дать лишь неточное знание. В таких случаях более надежной окажется структурная концепция.

Последняя хороша своей эвристичностью, универсальностью, проверяемостью и кибернетизируемостью. Эвристичность определяется знанием механизма функционирования интересующего нас предмета. Универсальность проявляется в том, что структурная концепция может включать в себя в качестве частного случая генетическую концепцию (для этого генезис надо разбить на фазы с выделением факторов). Проверимость следует из наблюдаемости предмета, а кибернетизируемость — из ее вероятностного характера.

Рассмотрим теперь генетическую концепцию в ее практическом применении [1]. При этом будем придерживаться намеченной выше последовательности этапов системообразования.

Начнем с интуитивного знания.

В работе А.Б. Вистелюса, Д.Н. Иванова и М.А. Романовой [1], судя по заглавию, речь идет о двух предметах исследования: о региональном тренде состава мезозойских гранитоидов Севера — Востока Азии и о локализации оловоносных областей этого района. Но второй предмет рассмотрен очень поверхностно, поэтому фактически остается только один — первый. При этом в тексте работы понятие состава фактически заменено не-

которой абстрактной величиной — коэффициентом основности гранитоида. Таким образом, предметом исследования является региональный тренд вновь построенного коэффициента основности мезозойских и, как оказывается ниже, кайнозойских гранитоидов^{*)}.

О проблеме упомянутого исследования можно судить по следующему высказыванию: "Целью исследования было выяснить, зависит ли изменение состава мезозойских и палеогеновых гранитоидов на изучаемой территории от геологической истории и если зависит, то как связана с этой зависимостью локализация оловоносных областей. Иными словами, возможно ли, зная основные черты геологического строения исследуемого региона и специфику узора вариации состава гранитоидов в его пределах, определить положение оловоносных зон" (см. [1], с.3).

Поискем смысл в этом высказывании. Авторы [1] хотят выяснить зависимость "изменения состава гранитоидов" от "геологической истории области". Это, по-видимому, означает, что они хотят выяснить вопрос: как этот состав изменялся в разные эпохи под воздействием различных событий. Такое понимание цели подтверждается следующими словами: "Нашей целью является изучение эволюции состава пород в пределах некоторых регионов" ([1], с. 17). Итак, речь идет именно об эволюции состава гранитоидов.

В работе [1] есть данные о нынешнем составе гранитоидов, но нет никаких сведений о том, каким он был в прошлые геологические эпохи. Следовательно, авторы должны построить какие-то ретрогнозы (для разных эпох).

Известно, что ретрогнозы можно строить на базе закона, описывающего действие исследуемого предмета или его модели [3]. В данном же случае нет ни закона предмета, ни закона модели. Поэтому ретрогнозы состава гранитоидов — совершенно неконкретные, а построены они на интуиции и догадках, связанных с давно обсуждаемыми в литературе гипотезами палингенеза гранитоидов и движения подкорковых масс.

Нынешний состав гранитоидов авторы характеризуют словами: "специфика узора вариации состава гранитоидов". Но что значит состав? Здесь имеется в виду так называемый "коэффициент основности". Он построен по данным о химическом составе.

^{*)} Этот коэффициент обозначен первыми буквами фамилий трех авторов — VIR.

При этом имеется в виду вариация не во времени и не в пространстве, а в статистической совокупности (на это указывает коэффициент вариации в формуле коэффициента основности).

Ставя вопрос: "зависит ли изменение состава ... гранитоидов... от геологической истории области и если зависит..." и т.д., авторы [1], по-видимому, допускают возможность отрицательного ответа (на это указывают частица "ли" и слова "если зависит"). В такой постановке вопроса нельзя не увидеть сомнения в принципе детерминизма вообще, хотя генетическая концепция основана как раз на одном из вариантов этого принципа.

Далее, авторы [1], по-видимому, считают, что геологическая история области им известна (в противном случае их цель будет бессмысленной). Но что же, в таком случае, неизвестно? Что авторы хотят, в конце концов, выяснить? Они хотят "определить положение оловоносных зон". Им известно, что в исследуемой ими области есть 76 месторождений олова (на карте они показаны как точки) и что они принадлежат к трем оловоносным зонам - Чукотско - Стьюрдской, Яно - Гыданской и Монголо - Охотской, но каковы границы этих зон - они хотят узнать не прямым путем, заглянув в литературу, где положение этих зон ясно показано, а косвенным - через решение вопроса о зависимости локализации оловоносных областей от зависимости (если она есть) состава гранитоидов от геологической истории области. Итак, их интересует зависимость от зависимости.

Чтобы придать смысл приведенному выше высказыванию авторов [1] о положении оловоносных зон, можно было бы слово "положение" заменить каким-либо другим словом - "связь", "перспективность", "генезис" и т.д., но тогда вся работа [1] приобрела бы другой характер.

В другом месте цель исследования определяется так: "Нашей целью является проверка гипотезы о том, что химический состав гранитоидов отражает некоторые черты геологической истории изученной области. Эти черты мы получаем из априорной информации, то есть геологических данных" ([1], с. 13). Схема рассуждения такова: есть геологические данные по Северо - Востоку Азии. Они по отношению к математико-геологическому исследованию считаются априорными (или просто задаются). По

этим данным авторы [I] мысленно восстанавливают черты геологической истории области. Далее выдвигается гипотеза о том, что некоторые из этих черт (какие именно — будем выяснять ниже) повлияли на химический состав гранитоидов, и вот надо проверить — так ли это на самом деле или же химический состав не отражает "некоторых черт" прошлого? Здесь, однако, неясно: какая (математическая или логическая) проверка имеется в виду. Известно, что фактами гипотезу проверить нельзя. Гипотеза — одна из разновидностей абстрактного мышления, а факты-констатация того, что мы улавливаем органами чувств. Ничто абстрактное нельзя воспринять зрением, слухом, обонянием и т.д. В учении о гипотезе говорится, что для отыскания выхода из этого затруднения, нужно из гипотезы логически вывести такие следствия, которые можно было бы увидеть, услышать и вообще воспринять органами чувств, а затем посмотреть, появились ли такие следствия в действительности. Если появились, то гипотезу считают подтвердившейся, если нет — ее отбрасывают. В работе же трех авторов [I], как мы увидим ниже, не такая проверка имеется в виду. У них речь идет о модельной (математической) проверке, но этого для науки мало. Гипотеза может быть корректной математически, но некорректной логически. В логике есть свои особые требования, которым должна удовлетворять каждая гипотеза.

Приведем еще два высказывания, относящиеся к цели исследования. Авторами [I] "ставится в общем виде проблема опробования" и "излагаются принципы построения некоторых геохимических коэффициентов" ([I], с. 2).

О том, как достигались эти (дополнительные) цели, мы скажем ниже, а здесь характеризуем фактический материал. Это 2326 образцов гранитоида (из них 2199, взятых на советской территории и 127 — в Японии). Все образцы были подвергнуты полному химическому (силикатному) анализу. Число точек опробования меньше числа образцов, так как по некоторым точкам было взято несколько (до 29) образцов. По приложенной к работе [I] карте опробования мы подсчитали число точек опробования. Их оказалось 1310 (в том числе 60 — на японской территории.)

О размерах исследованной площади можно судить по изолини-

ям, проведенным авторами на приложенной к их работе карте. Эта площадь равна 8 миллионам квадратных километров, в том числе 2,5 миллиона квадратных километров морей (Охотского и Японского. Если брать только сушу, то на одну точку опробования приходится площадь в среднем от четырех до четырех с половиной тысяч квадратных километров. Гранитоиды показаны на карте в виде красных пятен. Средняя площадь их во много раз меньше четырех тысяч квадратных километров. Число "пятен" не подсчитывалось. Оно находится где-то в пределах от 500 до 700. Общая площадь этих "пятен" тоже не замерялась. На глаз можно определить, что она в десятки раз меньше всей площади, покрытой изолиниями. Наибольшая часть территории северо-восточной Азии сложена осадочными и метаморфическими породами. Меньшая — изверженными (как эффузивными, так и интрузивными) породами. В одной из областей северо-восточной Азии — Охотской — из 229 тыс. кв.км., занятых изверженными породами, на долю гранитов и гранитоидов приходится только 51 тыс. кв.км. [6]. При этом площади, занятые осадочными и метаморфическими породами, в несколько раз больше площади развития изверженных пород. Фактический материал в работе [1] дан в таком виде, что его нельзя проверить и как-либо по-другому истолковать, так как нет ни таблицы химических анализов, ни вывода коэффициента основности (VJR), ни его конкретных значений по точкам опробования, ни границ оловоносных зон. Есть лишь таблица среднего для всей области химического анализа гранитоидов и две таблицы некоторых коэффициентов корреляции, но и они не поддаются проверке.

Так обстоит дело с фактами и с их оформлением. Охарактеризуем теперь теоретические построения и методы исследования. Начнем с последних. Методы исследования в работе [1] таковы:

- 1) построение нового коэффициента основности гранитоида;
- 2) вычисление его значений по каждой точке, где были взяты пробы этой породы;
- 3) проведение изолиний по этим значениям (методом тренд-анализа);
- 4) сопоставление плана изолиний с планом геологических структур, составленным независимо от применения математики.

Особенности этих методов следующие. Понятие химического

состава породы заменено, как уже замечалось, понятием коэффициента основности. Это привело к потере почти всей информации, собранной для исследования. Отвергнув существующие петрохимические показатели (Ниггли и Заварицкого), авторы сконструировали три новых коэффициента. Сопоставив построенные по их значениям карты изолиний с планом геологических структур, авторы выбрали из них тот, который "наиболее отчетливо обрисовывает ... оловоносные области" ([1], с.18) Это показывает, что положение оловоносных областей им было известно до начала исследования, хотя целью последнего стояло: "определить положение оловоносных зон" (областей). С выбранным коэффициентом они стали работать дальше, а другие два отбросили.

Формула коэффициента основности имеет странный вид (одни окислы стоят в числителе, другие - в знаменателе, статистические веса значений окислов взяты неодинаковыми способами). Этот коэффициент ниоткуда не выводился. Его и нельзя вывести, так как нет фиксированного определения основности гранитоида. В общем этот коэффициент - неясный и произвольный. Он выбирался так, чтобы мог подтвердить составленное до математического исследования представление о предмете исследования, но это ему не удалось. Вычисление значений коэффициента основности сделано неизвестно как (не сказано, что понимается под выборкой - совокупность 2326 проб или группы проб по отдельным областям, или же еще что). Метод тренд - анализа авторы изменили так, чтобы он мог подтвердить реальность составленного до этого исследования плана геологических структур. При таком подходе к математизации геологии ничего нового математика дать не может. Она может только придать видимость проверки того, что было принято геологом до применения математики.

Смысл любых изолиний состоит в том, что по ним можно сказать - какова наиболее вероятная величина геометризованного признака в любом месте, где тело, имеющее такой признак, обнаружено, а величина признака не измерялась. В работе же [1] изолинии идут главным образом по таким площадям, где залегают осадочные, метаморфические, основные и ультраосновные породы, а также по морям. Эту странную геометризацию авторы оправдывают следующим, еще более странным, рассуждением: если бы на

этих местах природа создала гранитоиды, то их основность была бы только такая, какую показывают изолинии. Так генетическая концепция принесла вред методам исследования.

Теоретические конструкции в работе [1] представлены в виде двух групп "выводов".

Выводы первой группы говорят о тенденциях в пространственном распределении основности гранитоидов и в размещении оловоносных "зон". Суть этих тенденций состоит в том, что "Тихому океану основность гранитоидов возрастает" и что "оловоносные области приурочены к зонам пониженной основности гранитоидов." Основанием для этих выводов послужила упомянутая выше карта изолиний. Рассматривая ее можно, однако, заметить, что на Чукотке основность возрастает к юго-западу, а не по направлению к Тихому океану. В районе от Охотска до Умалты и по всей Японии основность возрастает тоже в сторону, прямо противоположную Тихому океану, а это означает, что на третьей части всей исследуемой площади наблюдается нечто противоположное тому, что утверждают авторы [1].

Связь оловоносности пород с основностью гранитоидов характеризуется таблицей I, составленной нами по показаниям карты:

Таблица I

Значение VIR	Общее число месторождений олова	В том числе в гранитоидах	Число месторождений олова во всех районах, кроме Японии	В том числе в гранитоидах
4,50 - 4,75	11	2	11	2
4,75 - 5,00	16	6	15	6
5,00 - 5,25	42	9	28	4
5,25 - 5,50	7	1	-	-
Всего:	76	18	54	12
Средний VIR	5,02	5,00	5,00	4,92

Эти средние подсчитаны не для всех 1310 точек, где были взяты образцы гранитоида, а лишь для тех из них (числом 76), где находятся месторождения олова. Изолинии основности изменяются от 4,5 до 5,5. Средний VIR для 76 оловоносных точек

равен 5,0. Это означает, что основность, как ее представляет VIR , не влияет на оловоносность.

Так обстоит дело с первой группой выводов.

Вторая группа выводов дается в следующих словах: " В итоге исследований поведения коэффициента основности гранитоидов высказывается предположение, что изученные гранитоиды образованы за счет палингенеза древних осадочных толщ, локализованных на шельфах, примыкавших в раннем докембрии к горным массивам. Эти массивы располагались на месте Китая и Ледовитого океана. Олово происходит из россыпей, находившихся в осадках, подвергшихся палингенезу. Мезозойский гранитный магматизм вызван процессом миграции подкорковых масс из Тихоокеанской впадины под континентальную плиту Азии " ([1], с.2).

В других местах работы [1] есть некоторые дополнения к этому высказыванию. В целом генетическая гипотеза, скрепляющая все идеи авторов [1], может быть изложена так: Когда-то (до того времени, которое названо ранним докембрием) там, где ныне находятся Северный Ледовитый океан и Китай, стояли высокие горы. В них были небольшие месторождения олова пегматитового типа. Продукты разрушения этих гор сносились в океан и отлагались в области шельфа. В раннем докембрии из этих осадков кое-где сформировались россыпи касситерита. Происшедшее затем опускание районов шельфа на большую глубину привело к региональному метаморфизму осадочных толщ. В мезозое со стороны Тихого океана несколько раз перемещались подкорковые массы, вызывая усиленный разогрев плиты. Они интродуцировали в метаморфическую толщу, переплавляли ее и превратили в гранит. Этот гранит, в зависимости от состава переплавленных пород, образовался в виде многих разновидностей — от аляскита до диорита, поэтому в целом получил название гранитоида. По форме залегания — это батолиты и лакколиты. Из формирующихся батолитов и лакколитов поднимались гидротермы с палиметаллами и оловом. В результате образовались гидротермальные месторождения олова окисного и сульфидного типов. В палеогене этот процесс повторился.

Проанализируем эту гипотезу. Во-первых, рассмотрим вопрос о гранитоиде как вместилище олова и, во-вторых, о движении подкорковых масс.

Есть разные точки зрения на проблему происхождения месторождений олова в северо-восточной Азии [5,7]. О связи олова с гранитами говорят очень давно, но лет двадцать назад появилась новая точка зрения. Г.А.Осипова, К.Ф. Шипулин и другие, исследуя оловянные месторождения Кавалеровского района (Приморье), описали роговообманковые порфириды с оловом, затем более древние диабазовые порфириды (без олова) и еще более древние граниты (тоже без олова) — как раз те, с которыми другие авторы связывали оловянное оруденение. В диабазовом порфирите найден ксенолит аляскитового гранита [4]. На северо-востоке Азии есть офиолитовые комплексы. Основные и ультраосновные породы в Приморье — палеозойские и нижнемезозойские, на Сахалине — меловые, в восточной части Камчатки — палеогеновые и т.д. Это результат разных фаз внедрения мантийного вещества в кору. Есть их связь с подводными базальтовыми эвгеосинклинальными излияниями. Гранитоид, с которым авторы [1] связывают оловянную менерализацию, является, по их мнению, палингенным.

Палингенез — это переплавление различных пород, в том числе осадочных, совершающееся в толще коры при ее погружении. (в геосинклинальном прогибе) на глубину до 10 — 15, иногда более, километров. Присутствие палингенных гранитов в северо-восточной Азии не исключено и может быть даже неизбежно, как и в любой другой геосинклинальной области. Но для этого движение подкорových масс, то есть вещества верхней мантии, обязательно. Нужен лишь усиленный приток тепла с глубины, может быть поток перегретых растворов по ослабленным зонам (разломам). Кроме палингенных гранитов в данном районе вполне могут быть и кварцевые граниты.

Идею о подковровом происхождении рудоносных растворов в западных штатах США в 1931 г. высказали А.Локк, П.Биллингслей и Д.Шмидт [15]. Ее в применении к северо-востоку Азии обсуждали Ю.М.Шейнман [13], К.Ф. Шипулин [14] и др. С этой идеей связана гипотеза "тектоники плит" или "глобальной тектоники". Со стороны Тихого океана могла переместиться только масса основного состава. Для образования из нее гранитной магмы потребовался бы процесс селективного выплавления, но это допускалось и без гипотезы "тектоники плит". Концепция Н.Боуэна

о возникновении гранитной магмы из базальтовой еще лет 50 назад встречала возражение у видных петрологов. Однако Ю.М.Шейнман, В.П.Петров и др. считали несомненным существование ювенильных гранитов, то есть гранитов, выплавленных из вещества верхней мантии. Ювенильное происхождение гранитов северо-востока Азии отстаивает и Н.П. Васильковский. Эти граниты тесно связаны с эффузивами Восточно-Азиатского вулканического пояса, так что их объединяют в вулканически-плутонические комплексы (Е.К.Устиев, В.Ф. Белый и др.). Генерация же вулканических очагов под корой на глубине 50-70 км. ныне считается установленной для Ключевского вулкана (Г.С. Горшков), затем для вулканов Гавайских островов, Курило-Камчатской дуги и Японии. Эти выводы не нуждаются в гипотезе перемещения подкоровых масс, так как они получены до приобщения многих геологов к идеям глобальной тектоники.

Основывая свои взгляды на описанной выше генетической гипотезе, авторы [1], однако, не говорят, почему они выбрали именно ее, а все другие (тоже генетические) гипотезы отбросили. Их исследование будто бы подтвердило избранную ими гипотезу, но в действительности это не так. Вопрос оказался значительно более трудным. Чтобы выяснить закономерности локализации оловоносных областей в дальнейшем необходимо исследовать все 76 приуроченных к ним месторождений олова. Авторы же [1] отбросили всю обширную информацию, даваемую каждым из этих месторождений и ограничились только точкой на карте, показывающей, где оно находится. Между тем на многих из этих месторождений есть тысячи и десятки тысяч анализов руды и породы, есть геологические планы, разрезы, зарисовки и пр. Анализами рудников и многих геологических партий авторы не воспользовались будто бы из-за ошибок опробования, но никаких доказательств наличия этих ошибок не привели. Не будь такого, ничем не обоснованного, недоверия к геологическим документам партий и рудников, авторы [1] могли бы собрать сотни тысяч анализов и другую ценную информацию. Само собой разумеется, все эти анализы нельзя просто суммировать. Их надо было исследовать.

Так обстоит дело с первой целью исследования. Она, как мы видели, сформулирована неясно. Поэтому и сделать заклю -

чение о ее достижении можно лишь в виде следующих двух вариантов:

1) Если цель понимать буквально, то есть как определение положения оловоносных областей, то в ней нет смысла, так как это положение было известно до начала исследования

2) Если же ее понимать как отыскание геологических закономерностей локализации оловоносных областей, то она не достигнута.

Перейдем к результатам, полученным в связи со второй целью опробования, то есть в связи с постановкой проблемы опробования в общем виде. В качестве предпосылки к этой постановке авторы говорят о существующей сети опробования и каких-то ее недостатках (каких именно — неизвестно). Но что такое есть опробования? Некоторые, и авторы [1] в том числе, понимают ее как способ расположения точек опробования — безразлично какой. Другие (включая нас) сеть опробования считают не какое угодно, а только геометрически правильное расположение точек опробования. В связи с этим можно сказать, что работа [1] не опирается на сеть опробования. Можно было бы говорить о сети опробования каждого отдельного массива гранитоида, но число таких массивов настолько велико, что на каждый из них приходится в среднем 2-3 точки опробования. Для исследованного авторами [1] региона расположение точек опробования — беспорядочное. Их много на Чукотке, близ Магадана, к северу от Хабаровска, мало к западу от Охотска, в низовьях Колымы, на Камчатке, в Японии, совсем нет на Сахалине, в Японском и Охотском морях. Все точки показаны на карте масштаба 1: 10 000 000 (без геологической основы). На другой карте (1: 7 500 000) показаны некоторые элементы региональной тектоники, месторождения олова, выходы гранитоида и изолинии его основности. Переходя к постановке проблемы опробования, авторы говорят, что образование любого геологического тела является реализацией стохастического процесса в природе. На месте данного тела природа могла создать и другое, и третье, и какое-либо еще тело. Так, на месте 500-700 сравнительно мелких массивов гранитоида на северо-востоке Азии природа могла создать одно гигантское тело этой породы. Исследователи [1] да-

ют характеристику этого (воображаемого) тела, построив для одного из его свойств систему изолиний. Распределение того или иного свойства в геологическом теле — тоже результат стохастического процесса. В любой точке опробуемого тела может быть какое угодно (в каких-то пределах) значение интересующего нас признака. То значение, которое фактически есть — случайное. Случайности же есть, однако, не только в природе, но и в действиях исследователей. Процесс опробования — стохастический. Одно и то же тело можно опробовать по-разному. Результат любого опробования авторы [1] считают случайным.

Таким образом, в опробовании мы сталкиваемся с потоком случайностей, накладывающихся одна на другую.

По теории вероятностей среднее из случайных значений измеряемого признака будет тем ближе к истинному значению, чем больше число точек, где это измерение делалось и чем меньше дисперсия. Измерение же, сделанное в одной единственной точке, имеет малую вероятность того, что оно даст истину. В связи с этим авторы говорят, что "вопрос о представительности единичной пробы из отдельной точки не имеет смысла" ([1], с.14) и что "проба, взятая в одной точке наблюдения, практически ничего не дает" ([1], с.14). Здесь они просто повторили то, что в 1938 г. говорили В.М. Крейтер, Н.В. Барышев, В.И. Смирнов и др. [2]. Это правильно только в редких случаях, когда исследуемое свойство геологического объекта — весьма изменчивое, а точка для взятия пробы выбрана, так сказать, вслепую. Гораздо чаще исследуемое свойство бывает менее изменчивым, а точки опробования выбираются так, чтобы они были представительными для всего тела или хотя бы для определенной его части. Единичные пробы большого объема, называемые технологическими пробами, обычно бывают настолько представительными, что по ним проектируют технологию обогащения или выплавки металла.

Есть еще одно соображение в пользу внимательного выбора точек для взятия проб. Смысл опробования состоит не в получении общих средних для всего объекта, а в частных средних по участкам, каждый из которых имеет такие размеры, что можно планировать добычу руды по годам или пятилетиям. Мало толку от такого опробования, которое, пусть даже очень точно, показыва-

ет среднее значение интересующего нас признака, если площадь, для которой это среднее вычислено, рассчитана на сто лет эксплуатации. В таком случае не исключено, что первые сорок лет фактическое среднее будет в два раза выше подсчитанного среднего, а следующие шестьдесят лет, наоборот, мы получим в три раза более бедную руду. В результате такое опробование окажется непригодным для практических целей, хотя статистически оно очень точное! Правда, авторы, говоря о "проблеме опробования в общем виде", имеют в виду, главным образом, не разведочное, а геохимическое опробование, но и в этом случае их высказывания нельзя считать правильными. Одиночные пробы часто могут быть представительными, а сведения о них всегда имеют смысл. Этот смысл — не столько в общих, сколько в частных средних. Более того, общее среднее (кларки, например) иногда не имеет практического значения.

Так обстоит дело с проблемой опробования.

Что же касается третьей цели работы [1], то есть принципов построения некоторых коэффициентов, то их у авторов нет. Принцип — определенное номологическое высказывание. У авторов же есть лишь общие рассуждения, к тому же спорные.

В рассматриваемой работе есть и другие погрешности, как, например, смешение интрузии с интрузивом, неправильное употребление слова "достаточно", приписывание В.И. Вернадскому идеи построения карт в изолиниях (до него эту идею высказывали Ф.Шклярский (1921г.) и П.К. Соболевский (1932) и т.д.). Работа [1] интересна как нечто типичное для аналитического направления математизации геологии, но есть и другой подход к этой математизации [9]. "Математизированная" геология должна быть системой знания. Работа же [1] такой системой не является. В ней нет теорий, а другие компоненты знания, хотя и имеются, сформулированы с логическими ошибками.

Неудача исследования [1] вызвана, главным образом, тем, что оно опиралось на генетическую гипотезу, которую пытались математически подтвердить. В этом отношении структурная концепция была бы более продуктивной. Исследователи должны были бы закономерности локализации оловянного оруденения искать прежде всего на месторождениях олова. Именно там видны и характер вмещающих пород, и тектоника, и геохимические анома —

лии, и отношения содержаний одних элементов к содержаниям других по подрудным и надрудным зонам, и особенности опробования, и многое другое.

Что же касается основности гранитоидов, то нет материалов в пользу того, что именно она определяет локализацию оловянного оруденения. Если уж исследовать ее, то для этого нужен показатель, построенный на отношениях разных элементов друг к другу (именно элементов, а не окислов, так как кислород маскирует закономерности состава). Метод тренд-анализа, использованный авторами [1], не дал ничего определенного. Вместо него, по-видимому, следовало бы использовать метод дискриминантного анализа (по районам).

Л и т е р а т у р а

1. ВИСТЕЛИУС А.Б., ИВАНОВ Д.Н., РОМАНОВА М.А. Региональный тренд состава мезозойских гранитоидов и локализация оловоносных областей северо-восточной Азии. Л., "Наука", 1974.
2. Кафедра разведочного дела МГРИ. Принципиальные замечания по некоторым вопросам опробования. "Разв.Недр", 1938, № 2.
3. НИКИТИН Е.П. Метод познания прошлого. Вопросы философии. 1966, № 8.
4. ОСИПОВА Г.А. Дайки основного состава месторождения Левитского и их взаимоотношения с оруденением.- В кн.: "Взаимотношения оруденения и магматизма". М., "Недра", 1970, с.3-50.
5. РАДКЕВИЧ Е.А. К истории развития металлогенических идей. "Геология и геофизика", 1974, № 12, с.3-12.
6. УСТИЕВ Е.К. Мезозойско-кайнозойские вулканические пояса переходной зоны.- В кн.: "Земная кора окраин материков и внутренних морей". М., "Наука", 1975, с.182-198.

7. ФАВОРСКАЯ М.А., ТОМСОН И.Н. Прогнозирование оловянного оруденения в областях тектонической активизации. - В кн. : "Геохимические методы при поисках оловянных месторождений". М., Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. 1973, с. 3-11.
8. ШАРАПОВ И.П. Системный анализ в геологии. - В кн. : "Перспективы обеспечения газовой промышленности СССР ресурсами природного газа". М., "Недра", 1972, с.217 - 218.
9. ШАРАПОВ И.П. Новая концепция математической геологии. - В кн. : Symposium pracovníku banskeho prumyslu. Pribram scientie rerum montanarum. Hornická Pribram ve vede a technice, 1972. Sekce Matematicke metody v geologii a hornistvi", с. 1-13.
10. ШАРАПОВ И.П. К истории математической геологии. - В кн. : "Математические методы в геологии. Львовский университет. Вестник". Львов. Изд. Львовск. универ-та, 1973, с.3-7.
11. ШАРАПОВ И.П. Проблема научной революции в геологии. - В кн. : "Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых". Новосибирск., СО АН СССР, 1973, с. 40-62.
12. ШАРАПОВ И.П. Строение геологического знания. - В кн. : "Методологические проблемы геологии". Киев, "Наукова Думка". 1975, с.9-17.
13. ШЕЙНМАНН Ю.М. Области интрузий в пределах зон складчатости и их значение. "Советская Геология", 1958, № 1.
14. ШИПУЛИН К.Ф. Интрузивные породы Юго-Восточного Приморья и связь с ними оруденения. - Тр. ИГЕМ, 1957, в.8.
15. LOCK A., BILLINGSLEY P., SCHMIDT D. Some ideas of the occurrences of ore in Westere States. Econ., Geol., 1931, N 6.

В. И. Оноприенко

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ В ГЕОЛОГИИ

С момента возникновения геологии как науки она использовала, в качестве одного из руководящих принципов своего исследования, генетический подход. Определяя специфику структуры геологического знания, нельзя обойти вниманием значение генетического подхода, оказавшего сильнейшее влияние на особенности геологии. В последние годы появился ряд работ, в которых дается анализ генетического подхода, оценивается его значение и перспективы в дальнейшем прогрессе геологических наук, см. [1-4] и др. В связи с проектами математизации и формализации геологии оформился так называемый агенетический подход, отдающий предпочтение исследованию структурно-морфологических и вещественных характеристик геологических объектов. Вместе с тем характерна тенденция рассмотрения генетической формы представления геологической информации как исключительно специфической для геологии, в связи с этим распространились попытки модернизации генетических высказываний путем обоснования их математическими и другими современными методами. В сложившейся ситуации необходим объективный и полный анализ генетической концепции и оценка ее места в геологии.

Два типа генетического исследования

Приведем определения генезиса и генетического метода из философских справочников: "Генезис (от греческого – рождение, происхождение) – понятие, выражающее как момент зарождения, возникновения, так и процесс развития какого-либо качественно определенного предмета, явления. Генезис есть момент закономерного процесса развития явлений, связанного с перерывом постепенности и скачкообразным переходом в новое качественное состояние. Как становление нового качества, генезис осуществляется на базе определенных предпосылок, созданных предшествующим развитием, и представляет собой процесс ассимиляции и преобразования известных предпосылок в новую целостность, новую систему взаимодействия" [5]. "Генетический метод – способ исследования явлений, основывающийся на анализе их развития. Он отображает объективные процессы возникновения новых явлений, вещей в природе, в человеческом обществе, а также нового знания. Генетический метод требует фиксации начальных условий развития, основных его этапов, тенденций. Цель генетического метода – установить связь исследуемых явлений во времени, изучить переходы от низших форм к высшим. Главный принцип генетического метода заключается в признании возникновения качественно нового. Использование генетического метода допускает системный, структурный и другие методы исследования, так как возникновение нового связано с дифференциацией, структурализацией, системообразованием и другими превращениями объекта" [6].

Важным представляется различие двух типов (или уровней) исследования генезиса – временного и причинного. Различение временного и причинного аспектов исследования – актуальная проблема науки: часто эти два аспекта сложно переплетаются в реальном исследовании, в результате чего в науке нередки ситуации, когда один из этих аспектов подменяет другой, что ведет к появлению концепций с запутанной, эклектически построенной структурой.

Теоретическое исследование в любой науке в качестве составляющего элемента включает исследование причинных связей и отношений объекта. Мало того, в большинстве случаев теория невозможна без причинной интерпретации исследуемых отношений.

Тем более необходимость причинного аспекта рассмотрения очевидна в науках, включающих получение исторических знаний, к коим относят и геологию (хотя в последних причинные интерпретации наиболее затруднены). Обращение к причинному объяснению в ходе решения исторических задач необходимо по крайней мере в нескольких отношениях: 1) для выявления закономерности исследуемого процесса; 2) для построения результирующего вывода; 3) для задания концептуальных рамок, определяющих нить, стержень организации эмпирических фактов в ходе дальнейшего исследования истории.

Под причинным понимается объяснение объекта путем указания его причины и закона, благодаря которому причина порождает объясняемый объект [7]. Этот закон может отображаться как причинно-следственным, так и следственно-причинным законом науки. Причинная связь — это связь порождения, генетическая связь. Основой причинной связи является не временная связь состояний, а связь "направленного взаимодействия". По следам в структуре следствия (действия) можно судить о структуре действующей причины, поскольку инвариантным в причинных цепях является отражение структурой следствия элементов структуры причины (см. [8], стр.28-29).

Трудность причинного рассмотрения объективных связей в значительной степени обусловлена тем, что, во-первых, причинные связи многозначны, каждое явление выступает следствием множества причин, во-вторых, каждая причина производит множество действий (следствий), что определяет вероятностный характер научных предсказаний. Статистический характер причинно-следственных связей не исключает однако исследования отдельных, индивидуальных объектов, а наоборот, предполагает такое исследование, поскольку именно таким путем мы можем познать сущность внутренней структуры системы взаимодействующих объектов.

В причинном объяснении рассматривается сущностный уровень генезиса, а не все характеристики последнего, выясняется внутренний механизм генетической связи, возникновение объекта. Поэтому причинные объяснения весьма широко используются в науке. Прежде всего они применяются для анализа процессов и событий, для объяснения которых бывает достаточно вскрыть их

причину. Вместе с тем нередко этот тип объяснения применяется к исследованию типов объектов, которые нельзя квалифицировать как события (например, задача объяснения структуры организма в палеонтологии).

Причинное объяснение — один из простых типов научного объяснения, что связано с тем, что чаще всего объект исследуется с помощью этого объяснения не имманентно, со стороны его внутренних связей, а посредством указания другого, внешнего объекта, который выступает в качестве причины данного, а исследование объекта со стороны его внешних соотношений, как правило, более простое, доступное (хотя и не всегда, и для геологии это исключение имеет как раз весьма важное значение).

В основе различия процедур исследования временных и причинных отношений (а также в основе их взаимосвязи) лежит идея, согласно которой существует несколько уровней исследования генетических связей [7]. Эта идея основывается на том, что существуют три группы "времясодержащих" законов (т.е. законов, отображающих связи и отношения разновременных объектов): 1) законы простого временного следования или предшествования, 2) законы прямой (обратной) связи состояний, 3) причинно-следственные (следственно-причинные) законы.

Законы первой группы, отображающие инвариантную временную последовательность различных объектов, по существу не являются генетическими, они "квазигенетические", лишь по форме напоминающие генетические законы. Но поскольку временные отношения, вскрываемые этими законами, часто являются внешним, поверхностным проявлением более глубоких связей (связей состояний или причинных связей), то и эти законы, выступающие часто в качестве предпосылки обнаружения генетических закономерностей, имеет смысл рассматривать вместе с генетическими законами.

Законы второй группы отображают связь состояний объекта в процессе его изменения. Отличие причинной связи и связи состояний заключается в том, что первая есть форма направленного взаимодействия различных объектов или сторон, а вторая характеризует временную направленность в процессе развития объекта. Причинность характеризует механизм изменения системы, связь состояний, эволюцию состояния системы во времени: "Связь

состояний непосредственно характеризует направленность времени, являющуюся метрической стороной природы времени, тогда как причинность характеризует содержательную сторону времени, его необратимость" (см. [8] , стр.52). Это означает, что как раз порядок состояний объектов определяет содержание направленности времени. Вместе с тем можно определить законы, отображающие связи причинения. Временные отношения в этом случае выступают как внешние проявления причинных отношений.

С помощью законов третьей группы раскрывается глубокий уровень генетических связей – причинные отношения, внутренний механизм генезиса. Обычно с этим типом законов связывают цель теоретического исследования. Законы связи состояний являются законами изменений, а причинные законы – законами возникновения, развития.

Отношения простого временного следования и связь состояний могут выступать как самостоятельные отношения и связи, но при исследовании генезиса они часто могут быть представлены как последовательные уровни теоретического познания изучаемых объектов, как ступени, подводящие к выявлению причинных связей и отношений. Такой подход выразился в выделении соответственно трех типов генетических (контрагенетических) объяснений: квазигенетических, простых генетических и причинных [7].

При исторических реконструкциях в геологии наиболее типичным является смешение "квазигенетических" (временных), простых генетических (отражающих связь состояний) и причинных отношений. Сплошь и рядом выводы о причинных связях делаются на основании фиксации связи состояний, а чаще всего в результате установления некоторых временных соотношений состояний. Отмечая этот недостаток геологических реконструкций, следует вместе с тем специально остановиться на анализе глубокой связи временного и причинного аспектов геологического исследования.

Закон последовательности напластований Н.Стенона рассматривается большинством геологов как важнейшее положение стратиграфии, без которого невозможно прочесть геологическую историю. Основной упор при истолковании этого положения делается на то, что временные отношения между геологическими явлениями (т.е. отношения "раньше-позже") непосредственно

выводятся из анализа положения геологических тел (т.е. отношений "выше-ниже"). Однако современные формулировки закона напластований не вполне точно передают первоначальный смысл рассматриваемого положения Стенона. Наряду с пространственным расположением геологических тел Стенон использовал для установления между ними временных отношений и данные о состоянии и породившей их материальной системы ("жидкости"). Отсюда можно сделать вывод, что пространственную последовательность Стенон интерпретировал как временную на основании представления о последовательной смене состояний материальных систем. Иными словами, в своей интерпретации Стенон опирался не на концепцию специализации времени, как это делал Леонардо да Винчи [9], а на причинно-следственные отношения. Рассматриваемое положение можно сформулировать так: ненарушенная вертикальная пространственная последовательность геологических объектов отражает последовательную смену состояний породившей их материальной динамической системы.

Второй из основных тезисов Стенона тесно связан с его принципом историзма: структурно-вещественное подобие геологических объектов указывает на одинаковый способ их образования. Стенон связывал "одинаковость" геологических объектов с идентичностью условий их возникновения: геологические объекты, являющиеся следствием одной и той же причины — одновозрастны. Такой подход был развит затем А.Вернером и его школой и с тех пор широко внедрился в сознание геологов. Вернер строил свою стратиграфическую схему, опираясь, с одной стороны, на пространственные соотношения между геологическими формациями, которые он использовал для расшифровки временных отношений между геологическими явлениями, а, с другой, — на интерпретацию возраста пород как функции их генезиса.

Вывод, который следует из приведенного выше экскурса в историю стратиграфии, представляет уже не только исторический интерес, он глубоко актуален: установление временных отношений между геологическими объектами основывается (кроме учета пространственных соотношений между геологическими телами) на выводах о связи состояний и причинных связях различных систем, т.е. опирается на генетические реконструкции геосистем и палеоэкосистем [10-12]. Только такой подход, учитывающий

системные критерии и представляющий собой процедуру восстановления полной структуры объекта при создании ретросказательных моделей [13], делает возможным установление временных отношений между геологическими объектами.

Между тем нередко генетические реконструкции, используемые для целей причинных объяснений, обосновывают в геологии исключительно временными соотношениями геологических объектов, что безусловно порождает ущербность генетических моделей. В такой ситуации весьма важно не только различение двух уровней генезиса (связь состояний и причинно-следственные отношения), но и выделение "квазигенетических" (временных) отношений.

Функции генетической концепции в геологии

Существенным представляется определение статуса генетических построений в геологии. Как правило, исследование генезиса квалифицируют как относящееся к теоретическому уровню познания в геологии, по-разному оговаривая те или иные специфические черты их как теоретических средств. Так или иначе все, кто определяет статус генетической концепции в геологии, отмечают ее интерпретационный характер, противопоставляют ее эксперименту и данным наблюдения, рассматривают ее как определенную систему знания. Иногда генетические построения называют теориями. При этом понятие теории толкуется расширительно в отличие от того понимания теории, которое выдвигается новосибирским направлением математизации геологии [14-15]. Последнее можно назвать информационной точкой зрения, когда теория представляется как некоторого рода алгоритм, преобразующий эмпирическую информацию: на "входы" теории поступает некоторая совокупность опытных данных, на "выходе" теория должна давать другие данные, прогнозирующие поведение исследуемой системы [16]. Не вызывает сомнения, что претензии генетической концепции выступать в качестве современной теории в значительной степени неосновательны, поскольку она не удовлетворяет ряду требований, предъявляемых к теории, даже в таком общем, философском определении: "Теория - форма достоверного научного знания о некоторой совокупности объектов, представляющая собой систему взаимосвязанных утверждений и доказательств и содержащая методы объяснения и предсказания

явлений данной предметной области" [17] .

Ближе к истине определение генетических построений как гипотез, причем довольно своеобразных. Гипотезы, как известно, не только обобщают и синтезируют эмпирический материал, но и интерпретируют и объясняют, экстраполируют найденную эмпирическую закономерность, придавая ей универсальность. Поэтому в геологии, с ее слабо развитым теоретическим аппаратом, гипотезы так часто выступают в качестве заместителя теории. Основанием гипотезы выступают определенные научные факты и эмпирические знания. Поскольку гипотеза представляет собой форму недедуктивного рассуждения и характеризуется логической вероятностью, то весьма важно, чтобы она основывалась на вполне надежном, достоверном эмпирическом знании, чего как раз нельзя сказать о генетических гипотезах в геологии, поскольку плохо разработаны методы фиксации научных фактов.

Оценивая статус генетических построений, следует отметить, что формулируемые в геологии гипотезы, как правило, характеризуются сравнительно низким уровнем развития: в лучшем случае это обособленные эмпирические предположения, не объединенные в целостные системы. В таких условиях гипотезы могут подтверждаться фактами, результатами наблюдений и экспериментов, но нет возможности использовать методы теоретической верификации и корректировки внутри целостной, систематизированной совокупности гипотез, как это делается, например, в физике и химии.

Имеет смысл дифференцировать характеристику и место генетической концепции в системе познавательных средств современной геологии, приведя анализ основных ее функций.

О п и с а т е л ь н а я ф у н к ц и я .

Геологические теории и гипотезы являются описательными, фактуальными, прямо связанными с опытом как генетически, так и верификационно. Основные их положения представляют собой прямые обобщения опытных данных, а применяемые понятия являются "качественными", классификационными. Причем определяя дальнейшую перспективу развития теоретической геологии, следует отметить, что самый оптимистический вариант не может предполагать создание в условиях геологии математических теорий высокой степени развитости (дедуктивных, аксиоматических,

логики-математических), в лучшем случае это будут математизированные фактуальные, описательные теории, для которых характерен переход от качественных (классификационных) понятий к количественным понятиям, широкое использование измерительных процедур и построение в связи с этим математических моделей геологических явлений. *)

Отсюда следует, что важной функцией генетических высказываний (которые нередко выступают в геологии в качестве заменителя теории) является описание. Под теоретическим описанием понимают процедуру, необходимую для установления экспериментального (эмпирического) закона и протекающую по такой схеме: 1) нахождение теории или теоретического предположения, необходимого для описания; 2) получение эмпирических и экспериментальных данных, подлежащих описанию; 3) установление нового эмпирического закона. Теоретическое описание можно определить как установление эмпирического закона при помощи терминов словаря теории [19].

Основным недостатком генетических построений, выступающих в роли теоретического описания, являются: 1) неоднозначность языка генетической гипотезы, обуславливающая неопределенность характеристики одних и тех же объектов в различных контекстах; 2) отсутствие четкой фиксации полученного в результате такого описания эмпирического закона, который в силу этого почти никогда и не трактуется как закон. Ясно, что при такой ситуации ценность генетических высказываний, выступающих в этой функции, резко снижается, если не исчезает вообще. Между тем в геологии генетические интерпретации чаще всего используются как раз для теоретического описания, зачастую не только ничего не прибавляя к полученному другими методами эмпирическому материалу, но и способствуют благодаря генетической его перекодировке неверной ориентации дальнейших исследований [1].

Объяснительная функция.

Это, вероятно, основная функция генетических построений. Дело в том, что для объяснения (которое является элементом

*) Это обусловлено тем, что геологические системы относятся к классу так называемых естественнонаучных систем (см. [18]).

теории) объектов геологии, характеризующихся исключительной грандиозностью пространственных масштабов, недоступностью прямого наблюдения, неизбежной фрагментарностью эмпирических и экспериментальных данных, оказывается недостаточно структурных, субстанциальных, модельных и других типов объяснения. Последние должны быть дополнены генетическими объяснениями, хотя и несовершенными в логическом отношении, однако дающими возможность получить информацию особого рода об исследуемых объектах, которую нельзя получить с помощью других типов объяснения. Таким образом может быть получена информация о геологических процессах, которую нельзя получить другим путем. Поэтому, рассматривая проблему объяснения в геологии, не стоит противопоставлять друг другу генетический и структурный подходы, поскольку они в значительной мере взаимодополнительны [3]. Можно сомневаться в необходимости и целесообразности генетических построений для практических целей поиска полезных ископаемых, предсказания вообще, применения математических методов, но не для целей научного объяснения. Здесь значение этих построений несомненно.

Схема научного объяснения проста: 1) фиксация результатов наблюдения и эксперимента, 2) формирование определенного высказывания (в предельном случае эмпирического закона), подлежащего объяснению, 3) подведение высказывания, подлежащего объяснению, под более универсальное высказывание или закон. В качестве универсальных высказываний и законов используются предположения и модели-образы относительно причины или предшествующего состояния объясняемого объекта.

Несовершенство генетических объяснений в геологии состоит в следующих моментах: 1) недостаточно четкая фиксация самих объектов объяснения, в результате чего часто отсутствует уверенность в однотипности объясняемого и объясняющего высказываний; 2) высказывания формулируются на естественном языке, что также затрудняет сопоставление объясняемого и объясняющего; 3) универсальные высказывания и законы, выступающие в качестве эксплананса, в геологии формулируются в лучшем случае как эмпирически констатируемая регулярность или правило, что значительно снижает логическую силу генетических высказываний и конструкций.

Систематизирующая функция.

Генетические гипотезы, основываясь на эмпирическом материале, определенным образом упорядочивают и синтезируют последний. Значение этой функции генетических построений в геологии довольно велико. Оно было подчеркнуто Ю.А. Ворониным и Э.А. Егановым, которые назвали эту функцию "обобщенным описанием", в ходе которого осуществляется генерализация описания, упорядочение и выделение "существенных" свойств рассматриваемого объекта [1] (см. стр. 9-10). Следовательно, здесь генетические предположения выступают в качестве принципов систематизации эмпирического материала. Как таковые, они ориентируют на выбор моделей геологических объектов. Эти принципы суть эвристические принципы "наведения", общей ориентации, поэтому полезно в данном случае использовать широкие генетические допущения, избегая общих недостатков генетических построений.

Предсказательная функция.

В литературе справедливо был подвергнут критике подход, жестко связывающий генетические гипотезы с предсказанием в отношении практических приложений, например, с поисками полезных ископаемых [1]. Действительно, одной из существенных особенностей и недостатков генетических построений в геологии является их малая предсказательная сила. Предсказательная сила гипотез зависит от их логической силы: чем больше эмпирически проверяемых следствий можно вывести из гипотезы, тем больше ее предсказательная сила [20]. Главный недостаток генетических гипотез заключается в том, что из них редко можно вывести эмпирически проверяемые следствия, конкурирующие гипотезы сравнивают между собой в лучшем случае на основании их информативной емкости, которая представляет собой тот же систематизированный определенным образом эмпирический геологический материал. Отсюда, в частности, следует и вывод об эмпиричности геологии, поскольку генетические построения выступают в качестве систематизаций эмпирического материала и обладают малой предсказательной силой из-за невозможности вывести из них эмпирически проверяемые следствия.

Объективной причиной низкого уровня предсказательной силы генетических построений в геологии являются конвергенция

и дивергенция генетических признаков в геологических процессах, существенно усложняющие генетическую диагностику (см. [21-23]), вносящие в суждения о генезисе неопределенность, которая может быть конвергентной, дивергентной и сложнокombинированной [24].

Подводя итоги функционального анализа генетической концепции в геологии, можно сделать такие выводы:

1. Генетические построения представляют собой гипотетические высказывания сравнительно низкой степени теоретичности, поскольку, как правило, в геологии они не связаны в замкнутые теоретические системы, что исключает возможность теоретической их проверки и логического вывода из них других высказываний.

2. Генетические построения необходимы главным образом для получения гипотетических высказываний относительно природы собственно геологических процессов и, следовательно, так или иначе связаны с процедурами получения исторического знания.

3. Генетические построения в геологии выступают в качестве теоретического описания, систематизации эмпирического материала и научного объяснения. Значительно менее они пригодны для предсказания.

В связи с этим, оценивая возможности генетических гипотез в геологии, следует ограничить их преимущественно эвристическими целями, для достижения которых использование представлений о генезисе геологических объектов полезно и необходимо. Как модели они неоперациональны^{*)}. Это преимущественно модели-образы, исследование которых не столько доставляет новую информацию об объектах, сколько систематизирует известный фактический материал по некоторым генетическим признакам (т.е. происходит "перекодировка" информации). В целом такой подход может облегчить поиски маршрута дальнейшего исследования с использованием средств моделирования. Такая оценка значения генетической концепции в геологии определяет и меры по совершенствованию генетических построений.

*) Это позволило Ю.А.Воронину и Э.А.Еганову сделать вывод о предмодельном уровне генетических конструкций (см. [15]).

Генетические задачи и возможности исследования геологических процессов

Ограничивая место генетических построений в геологии, нельзя вместе с тем не признать, что постановка и решение ряда генетических задач в геологии не только имеют смысл, но и насущно необходимы. Генетическое исследование по самой своей сути есть исследование процессов. Имея в виду именно этот аспект проблемы, нельзя не отметить две существенные трудности, стоящие на пути реализации генетического исследования: 1) нет ясности, что следует понимать под геологическим процессом, 2) нельзя исследовать геологические процессы непосредственно, необходима их реконструкция. Хотя в последние годы получили широкое распространение идеи о "разложимости" геологических процессов на механические, физические, химические и другие составляющие, о том, что геологические процессы суть те же физико-химические, но протекающие в природных условиях, однако существует больше оснований согласиться с Э.А.Егановым, показавшим, что физико-химическое моделирование геологических процессов легко переоценить, так как физико-химические законы можно установить лишь в качестве самого последнего звена в цепи причинных обусловленностей, что физико-химические законы действуют с необходимостью, а причины геологических явлений надо изучать вероятностными способами, поэтому их нельзя свести к физико-химическим моделям [25]. В связи с этим пока нельзя определить конкретно природу геологических процессов.

Относительно восстановления, реконструкции геологических процессов по фрагментам зафиксированной статической структуры объектов написано довольно много. В данном случае процедура исследования геологических процессов является, как иногда выражаются, интерпретационной, и поэтому полученное знание обладает логической вероятностью. Непосредственному исследованию подлежат различные диахронические "срезы" результатов геологических процессов. Это последнее обстоятельство обуславливает возможность использования для целей совершенствования генетического исследования в геологии структурно-

диахронического анализа^{ж)}, целью которого является изучение композиционных и структурно-морфологических характеристик развертывания явлений во времени, продолжительности и порядка следования фаз процессов, ритмики и скорости протекания отдельных событий ([27], см. стр. 3).

В качестве элементов структуры процесса могут рассматриваться отдельные стороны его, продукты своеобразного "продольного" расщепления целостного процесса, которые сосуществуют во времени и из которых с течением времени "сплетается" целостный процесс (синхроническая структура процесса). Структура процесса в этом случае понимается как строение отдельного "поперечного" сечения процесса, как перечень различных значимых его сторон и проявлений в их взаимосвязи.

Другой смысл в понимание структуры процесса вкладывается, когда говорят о выделении в качестве ее элементов некоторых последовательных этапов, стадий, периодов и состояний в ходе процесса. В этом случае имеется ввиду некоторое "поперечное" его расчленение (хроноструктура процесса).

При "продольном" аналитическом членении процесса устанавливается определенный набор признаков или переменных величин, отражающих содержательную сторону конкретного процесса и подлежащих измерению в ходе эмпирического исследования. "Поперечное" же членение устанавливает некие примечательные события в ходе процесса — переломные моменты, качественные сдвиги, паузы и т.п., в соответствии с которыми определяются модуль продолжительности процесса, оптимальный шаг анализа во времени и другие структурно-морфологические и композиционные характеристики хода изучаемого явления во времени.

В геологии исследуются процессы с различным модулем продолжительности (модуль продолжительности процесса — усредненная величина продолжительности всего множества единичных экземпляров заданного процесса), но особенно характерны так называемые макромодульные (модуль от суток до 100 лет) и мегамодульные (модуль более столетия) процессы. Первый из этих классов включает процессы, которые могут быть доступны для

ж) Идея о применении структурного метода к решению исторических задач геологии была недавно высказана Ю.А. Косыгиным и В.А. Соловьевым [26].

непосредственного их наблюдения отдельным исследователем в реальном масштабе времени, хотя такое наблюдение и будет обязательно прерывистым во времени. Существенную трудность исследования процессов этого класса представляет невозможность воспроизводимости их в эксперименте, отсюда вытекает необходимость анализа условий, при которых можно было бы считать тождественными разные экземпляры из некоторого ансамбля параллельно протекающих явлений.

Для мегамодульных процессов, наряду с этими проблемами, возникают и специфические. Как правило, течение таких процессов в лучшем случае может исследоваться лишь в отдельных фрагментах и на первый план выдвигаются задачи реконструкции хода процессов. В геологии особое значение приобретает использование синхронического исследования диахронии, когда последовательные стадии некоторого процесса устанавливаются или реконструируются на основе изучения нескольких экземпляров процесса, начавшихся в разные моменты прошлого и находящихся к моменту наблюдения в разных стадиях своего развития. Своеобразен круг методологических проблем, возникающих в связи с использованием "ускоренных" естественных моделей мегамодульных процессов. Обсуждение подобных моделей в физике приводит к проблеме так называемой масштабной инвариантности физических законов [27,28]. Аналогичные проблемы возникают и в методологии геологического моделирования.

Одной из возможностей корректировки моделей мегамодульных процессов является соотнесение между собой моделей нескольких параллельно протекающих процессов различной природы. Такой "синтез" данных о различных процессах весьма характерен для методологии геологического исследования и дает положительные результаты.

Для совершенствования представлений о реконструируемых крупномасштабных геологических процессах весьма полезной оказывается идея углубленного структурно-диахронического анализа, когда идут от выделения крупных по времени фаз процессов к постепенной детализации их на все более дробные. Такой ход исследования дает возможность уточнить реконструкцию анализируемых процессов, дифференцировать восстанавливаемые ситуации и может быть рекомендован как средство совершенствования

исторического познания в геологии [18,29] .

В целом применение средств структурно-диахронического подхода в геологии направлено на формализацию генетического исследования. Оно означает применение структурного метода для решения исторических задач в геологии (как указывалось, такая идея в несколько иной форме была высказана Ю.А.Косыгиным и В.А.Соловьевым). Недаром уместна аналогия между структурно-диахроническим исследованием и геометрией, отвлекающейся при изучении объектов от их вещественных характеристик (см. [27], стр.5).

Одним из важных условий применения структурно-диахронического исследования является разработка шкалы времени в отношении тех процессов, которые подвергаются изучению. Для геологии эта задача весьма актуальна, поскольку только с ее решением можно связывать перспективы разработки генетической концепции. Проблема создания метрики времени и построения современной "считаемой" шкалы времени в геологии поставлена в ряде работ (см. [31-33]). Однако это еще не означает, что она принципиально реализуема: чересчур много преград находится на ее пути. В то время только с решением этой проблемы можно надеяться в определенной мере освободить генетические построения в геологии от фантастичности и спекулятивности, установить номенклатуру геологических процессов, упорядочить фрагментарные во времени и пространстве наблюдения, создав тем самым более или менее надежный эмпирический базис для построения генетических гипотез, преодолеть субъективизм при построении моделей и выработке критериев их верификации.

Пути совершенствования генетических построений

Определить эти пути можно лишь выбрав рациональное основание для классификации особенностей и недостатков генетических построений в геологии. Последние можно подразделить на три основные группы. П е р в а я группа будет включать общегеологические особенности, которые характерны и для генетических построений в геологии: 1) неудовлетворительное состояние понятийной базы геологии, неразработанность геологического языка; 2) нефиксированность геологических законов, что затрудняет и даже дискредитирует процедуры логического вывода;

3) не вполне надежный характер посылок генетических гипотез, определяющий их теоретическую ущербность; 4) отсутствие замкнутых теоретических систем, что обуславливает невозможность теоретического обоснования и верификации генетических гипотез; 5) низкий объяснительный уровень генетических построений, часто представляющих лишь сумму эмпирической информации; 6) малая информативность и предсказательная сила генетических теоретических высказываний, что обуславливает трудности, а то и невозможность их эмпирической проверки.

В т о р у ю группу будут составлять логические особенности и недостатки генетических построений. К ним следует отнести такие их особенности как гипотез: 1) логическая вероятность получаемых с их помощью высказываний, что связано с недедуктивным типом рассуждения в гипотезе; 2) затрудненность эмпирической проверки гипотез, особенно широких, общих.

К т р е т ь е й группе относятся собственные особенности генетических построений, связанные со спецификой исследования геологических процессов и причинности: 1) частичность и односторонность физико-химических моделей геологических процессов; 2) статистическая природа геологических законов; 3) неразработанность метрики времени в геологии; 4) конвергентность генетических признаков; 5) особенности и недостатки генетических построений как исторических реконструкций [29].

В соответствии с тремя группами особенностей можно выделить и стратегию совершенствования генетических построений в геологии. Для ликвидации недостатков генетических гипотез, входящих в первую группу, наиболее пригодны средства, рекомендуемые для совершенствования геологии новосибирским направлением математизации геологических наук, обозначаемые как формализация геологии. Точнее, речь идет в основном о двух процессах: 1) разработка понятийной базы геологии и совершенствование теоретических средств на основе развития аксиоматизации и дедуктивных методов; 2) разработка средств фиксации эмпирических фактов в геологии и верификации теоретических конструкций с помощью эмпирических средств.

Для избавления от логических недостатков генетических построений как гипотез едва ли можно рекомендовать какие-либо надежные средства. Мало того, такие рекомендации могут даже

нанести определенный ущерб генетическим построениям, неверно ориентируя геологов. Так, в последнее время в геологии с целью повысить эмпирическую проверяемость генетических гипотез, предлагают использовать математические средства для исчисления логической вероятности гипотез, которая характеризует отношение между посылками и гипотезой и не имеет ничего общего со статистической вероятностью, описывающей определенные объективные отношения в исследуемом предмете. Следовательно, такая "модернизация" генетических гипотез не может помочь их совершенствованию, во всяком случае эта проблема относится к компетенции логики, а не геологии.

Наибольшую трудность и в то же время актуальность для совершенствования представляют особенности генетических построений, связанные со спецификой исследования геологических процессов, причинности и историческими реконструкциями. Предлагаемые здесь рекомендации будут носить несколько общий характер. Настоятельно требуется их дальнейшая конкретизация. Могут быть предложены следующие мероприятия: 1) установление хотя бы некоторых, основных законов геологических процессов, 2) использование системного подхода как для целей реконструкции событий геологического прошлого (восстановление полной структуры объекта), так и для комплексного представления результатов физико-химического моделирования геологических процессов, 3) критический анализ шкалы геологического времени, обсуждение возможностей и разработка принципов построения метрики времени, 4) разработка правил построения идеализированных объектов в исторической геологии, правил перехода от идеализированных объектов, для которых будут сформулированы законы, к конкретным индивидуальным объектам, а также разработка процедур верификации исторического знания [29].

Высказанные в данном сообщении соображения относительно места генетической концепции в современной геологии, естественно, неполны. Эта проблема требует дальнейшего обсуждения в специальной и методологической литературе, тем более, что в последние годы она приобрела актуальность в связи с развитием агенетического направления в геологии.

Л и т е р а т у р а

1. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. О генетическом и агенетическом направлениях в геологии. ВИНТИ, № 3934-72 Деп., Новосибирск, 1971.
2. ДРАГУНОВ В.И., КРУТЬ И.В. Геология и ее положение в естествознании. - В кн.: Проблемы развития советской геологии. - Труды ВСЕГЕИ, вып. 177. Л., 1971.
3. ОНОПРИЕНКО В.И. Взаимосвязь структурного, генетического и системного подходов в геологических исследованиях. - В кн.: Методологические вопросы геологических наук. Киев, "Наукова думка", 1974.
4. ПОКРОВСКИЙ М.П. О "генетическом" и "морфологическом" подходах в изучении геологических объектов. - В кн.: Философские вопросы геологии, вып. 88 (3). Свердловск, 1972.
5. Философская энциклопедия, т. I. М., 1970, с. 347.
6. Філософський словник. Київ, 1973, с. 79.
7. НИКИТИН Е.П. Объяснение - функция науки. М., "Наука", 1970.
8. СЕЙФУЛЛАЕВ Р.С. Концепция причинности и ее функция в физике. Новосибирск, "Наука", 1973.
9. СИМАКОВ К.В., ОНОПРИЕНКО В.И. "Геологическое" и "физическое" время (сопоставление понятий и процедур измерения). - В кн.: Методологические проблемы геологии. Киев, "Наукова думка", 1975.
10. КРАСИЛОВ В.А. Палеозоосистемы. "Изв. АН СССР, сер. геол.", 1970, № 4.
11. КРУТЬ И.В. Исследование оснований теоретической геологии. М., "Наука", 1973.
12. МЕИЕН С.В. Введение в теорию стратиграфии. ВИНТИ, № 1749-74 Деп. М., 1974.
13. НИКИТИН Е.П. Метод познания прошлого. "Вопросы философии", 1966, № 8.
14. Геология и математика. Новосибирск, "Наука", 1967.

15. ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А. Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск, "Наука", 1974.
16. БАЖЕНОВ Л.Б. Стрoение и функции естественнонаучной теории. — В кн.: Синтез современного научного знания. М., "Наука", 1973.
17. Философская энциклопедия. Т.5. М., 1971.
18. БЕЛНЕВ Е.А. Некоторые особенности применения метода аналогий в геологии. — В кн.: Методологические проблемы геологии. Киев, "Наукова думка", 1975.
19. ПЕЧЕНКИН А.А. Функции научной теории. — В кн.: Философия, методология, наука. М., "Наука", 1972, с.207-211.
20. РУЗАВИН Г.И. Методы научного исследования. М., "Мысль", 1974, с.134.
21. СМЕРНОВ В.И. Конвергентность колчеданных месторождений. "Вестник МГУ, сер. геол.", 1960, № 2.
22. ПОСПЕЛОВ Г.Л. О проблеме конвергенции в петрографии и геологии. — В кн.: Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. М., "Недра", 1963.
23. РАДКЕВИЧ Р.О. Проблема конвергенции и дивергенции признаков природных объектов в геохимии. "Бюлл. МОИП", отд. геол., 1969, X, IV.
24. ПОСПЕЛОВ Г.Л. Проблема причинности и явление конвергентной неопределенности в геологии. — В кн.: Современный детерминизм и наука, т.2. Новосибирск, "Наука", 1975, с.323.
25. ЕГАНОВ Э.А. Проблемы образования и размещения пластовых фосфоритов. Новосибирск, "Наука", 1974, с.163.
26. КОСЫГИН Ю.А., СОЛОВЬЕВ В.А. Принцип историзма и тектоника. "Геология и геофизика", 1974, № 5.
27. СЕРОВ Н.К. Процессы и мера времени. Л., "Наука", 1974.
28. ДУБОВИК В.М. Масштабная инвариантность и гравитация. УФН, 1973, 109, вып. 4.
29. ОНОПРИЕНКО В.И. Логика процедуры ретросказания в геологии. —

Вид.: Методология геологических исследований. Хабаровск, 1976.

30. САЛИН Ю.С., СОЛОВЬЕВ В.А. Геология и геометрия. - В кн.: Вопросы общей и теоретической тектоники. Хабаровск, 1974.
31. СИМАКОВ К.В. Международная стратиграфическая шкала, метрика и календарь геологического времени. - "Изв. АН СССР, сер. геол.", 1975, №4.
32. СИМАКОВ К.В., ОНОПРИЕНКО В.И. Задача построения метрики времени в геологии. - Доклады АН УССР, сер. Б, 1975, № 10.
33. СИМАКОВ К.В., ОНОПРИЕНКО В.И. Проблема лichenя часу в геологii. "Вiсник АН УССР", 1975, № II.

В.В.Веселов, Д.П.Гонтов, О.В.Кочеткова,
Л.М.Пустыльников, Л.В.Токарева

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФУНКЦИЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

1. В работе [1] предложен вариационный подход к решению задач интерполяции экспериментальных данных, принадлежащих двух-или трехмерным областям с заданной границей. Показано, что такой подход обладает рядом существенных преимуществ в сравнении со многими традиционными методами интерполяции, в частности, методом линейной интерполяции, интерполяции с помощью ортогональных многочленов, методом, основанном на использовании интерполяционных многочленов Лагранжа, и др.

Проблема интерполяции рассматривается как вариационная с привлечением идей, формализма и методов классического вариационного исчисления. Такая точка зрения на задачу интерполяции позволяет полностью исключить элемент субъективности при построении карт изолиний (в частности метод не искажает известную информацию), четко формулировать априорные критерии качества восстанавливаемых распределений, естественным путем учитывать общие свойства распределений (если последние известны), а с оперативной стороны - использовать возможности

многих хорошо разработанных приемов математической физики.

При таком подходе задача интерполяции сводится к численному или модельному решению некоторой краевой задачи, на котором реализуется экстремум функционала — заранее заданного критерия качества. Само же решение краевой задачи может осуществляться любыми традиционными методами вычислительной математики, например, методом расщепления пространственного оператора (методом переменных направлений) или каким-либо другим. Если условия на границе области не заданы, то предлагаемый подход позволяет указать так называемые "естественные" краевые условия, получаемые из требования равенства нулю первой вариации функционала — критерия качества, но уже без фиксации проведения искомого распределения на границе области.

Рассмотрим подробнее основные особенности предлагаемого метода. Для простоты рассмотрим только двумерные распределения, хотя все сказанное в равной мере относится и к трехмерному случаю.

II. Пусть распределение $N_i(X, Y)$ задано в некоторой произвольной одно- или многосвязной замкнутой области S с границей Γ .

Будем исходить из следующего, главного требования: восстановленное в результате интерполяции распределение $N_v(x, y)$ должно обладать свойствами, не зависящими от неизвестной информации относительно (X, Y) . Если эти свойства одновременно таковы, что решение задачи отыскания $N_v(X, Y)$ существует и единственно, то это с самого начала обеспечит точное совпадение результатов, получаемых различными исследователями. Дополнительное требование может состоять в том, чтобы известная информация относительно $N_i(X, Y)$ (т.е. известные точки и общие свойства распределения) не искажались. Выдвинутые требования, естественно, наталкивают на мысль о формулировке критерия качества для задач интерполяции (подобно тому, как это делается в задачах линейного и нелинейного программирования, в теории игр, в задачах оптимального управления и т.д.), т.е. выдвигении некоторого числа — функционала, экстремум которого будет означать наилучшую интерполяцию с точки зрения этого критерия. Конечно, конкретный вид критерия для каждого

класса задач может быть сформулирован только геологом на основе имеющегося опыта или точного представления о том, какая именно характеристика распределения должна быть минимизирована.

В работе [I] показано, что при таком подходе задача интерполяции сводится к решению уравнения Эйлера-Остроградского^{ж)}

$$\frac{\partial F}{\partial H_B} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial H_{By}} = 0, \quad (1)$$

с некоторыми краевыми условиями на границе Γ области S , т.е. к решению краевой задачи математической физики (например, задачи Дирихле, Неймана и др.).

Например, если критерий качества имеет вид

$$I = \iint_S [\text{grad } H_B]^2 ds, \quad (2)$$

то интерполирующее уравнение (I) оказывается уравнением Лапласа: при дополнительном изопериметрическом условии - интерполирующем уравнением будет уравнение Пуассона и др.

В дополнение к изложенному [I] следует обратить внимание на следующую символическую аналогию. Именно, если критерий качества

$$I = \iint_S (\nabla H_B)^2 ds, \quad (3)$$

то интерполирующее уравнение (уравнение Эйлера-Остроградского) приобретает вид $\nabla^2 H_B = 0$.

Если же $I = \iint_S (\Delta H_B)^2 ds$, (4)

то интерполирующим уравнением будет

$$\Delta^2 H_B = 0, \quad (5)$$

т.е. - бигармоническое уравнение.

III. В [I] было принято, что краевые условия на границе Γ области S известны.

Однако в практике задач интерполирования часто случается,

^{ж)} Обозначения совпадают с принятыми в работе [I].

что исследователь не располагает данными на границе Γ , а построить карту изолиний тем не менее необходимо. Здесь надо сразу подчеркнуть, что с рассматриваемых позиций такая задача математически по-прежнему корректна. Другими словами, предлагаемый аппарат все равно продолжает "работать" и даёт возможность установить "естественные" краевые условия. Пусть критерий качества выбран в форме

$$I = \iint_S F(x, y, H_B, \frac{\partial H_B}{\partial x}, \frac{\partial H_B}{\partial y}) dS. \quad (6)$$

Найдем такое распределение $H_B(x, y)$ внутри области S и одновременно такие краевые условия на границе Γ , которые совместно принесли бы экстремум функционалу (6).

Ясно, что если качество интерполяции эквивалентно как можно более глубокому оптимуму выбранного функционала, то привлечение именно естественных условий обеспечит только улучшенную картину интерполяции по сравнению с любыми другими условиями на границе Γ .

Получим естественные краевые условия для ряда важных случаев. Для этого рассмотрим однопараметрическое семейство распределений.

$$H_B = H_B(x, y, \alpha) = H_B(x, y) + \alpha \tilde{H}_B(x, y), \quad (7)$$

причем вариация $\tilde{H}_B(x, y)$ не обращается в тождественный ноль на Γ . Вариация функционала (6) может быть выражена следующим образом:

$$\begin{aligned} \delta I = \iint_S & \left(\frac{\partial F}{\partial H_B} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \right) \tilde{H}_B dS + \\ & + \iint_S \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} \tilde{H}_B \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial F}{\partial H_{By}} \tilde{H}_B \right) \right] dS. \end{aligned} \quad (8)$$

Преобразуя последний интеграл по формуле Грина [2], получим

$$\delta I = \iint_S \left(\frac{\partial F}{\partial H_B} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \right) \tilde{\delta} H_B dS +$$

$$+ \oint \left(\frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \frac{dx}{dl} \right) \tilde{\delta} H_B dl, \quad (9)$$

где dl — элемент дуги контура Γ .

Так как на "поверхности экстремума" должно выполняться равенство $\delta I = 0$, то оба интеграла в (9) должны обратиться в нуль. Но вариация $\tilde{\delta} H_B$ на границе Γ не равна нулю. Поэтому по основной лемме вариационного исчисления, помимо уравнения для $H_B(X, Y)$, внутри области S

$$\frac{\partial F}{\partial H_B} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial H_{By}} = 0, \quad (10)$$

приходим к следующему соотношению для $H_B(X, Y)$ на границе области Γ :

$$\frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \frac{dx}{dl} = 0 \quad (11)$$

соотношение (II) и выражает естественные краевые условия для восстанавливаемого распределения $H_B(X, Y)$.

Рассмотрим, какими окажутся естественные условия для критерия качества (2), дающего в качестве "интерполирующего уравнения" — уравнение Лапласа (2).

Очевидно, равенство (II) преобразуется к виду:

$$\frac{\partial H_B}{\partial x} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial H_B}{\partial y} \frac{dx}{dl} = 0. \quad (12)$$

Но, нетрудно видеть (рис. I), что

$$\frac{dy}{dl} = \cos \alpha, \quad \frac{dx}{dl} = -\cos \beta, \quad (13)$$

где $\cos \alpha$ и $\cos \beta$ - направляющие косинусы единичной нормали к Γ .

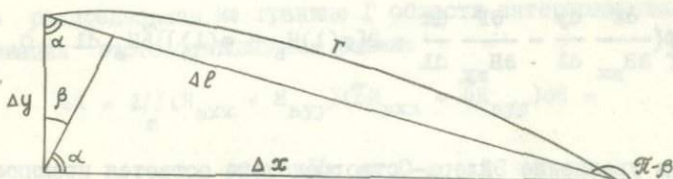


Рис. I

Следовательно, вместо (I2) можно записать:

$$\frac{\partial H_B}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial H_B}{\partial y} \cos \beta = (\text{grad}_{H_B} \cdot \vec{n}^0) = \quad (14)$$

$$= \text{grad}_{\vec{n}^0} H_B = 0$$

или
$$\left(\frac{\partial H_B}{\partial n} \right)_{\Gamma} = 0. \quad (15)$$

Таким образом, естественные краевые условия в случае интерполирования с помощью уравнения Лапласа должны, в совокупности с этим уравнением, представлять однородную задачу Неймана.

Рассмотрим даже более сложную задачу интерполирования, связанную с отысканием естественных краевых условий для критерия качества вида

$$I = \iint_S F(x, y, H_B, \frac{\partial H_B}{\partial x}, \frac{\partial H_B}{\partial y}) dS + \int_{\Gamma} [\sigma(1)H_B^2 - 2\phi(1)H_B] dl, \quad (16)$$

то есть восстанавливаемое распределение должно обладать некоторыми оптимальными свойствами не только внутри области S , но и на самой границе Γ .

Отыскивая вариацию функционала (I6), получим

$$\delta I = \iint_S \left(\frac{\partial F}{\partial H_B} - \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} - \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \right) \delta H_B \, dS +$$

$$+ \oint_{\Gamma} \left(\frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \frac{dx}{dl} + 2[\sigma(1)H_B - \varphi(1)] \right) \delta H_B \, dl = 0, \quad (17)$$

откуда уравнение Эйлера–Остроградского остается прежним (т.е. вида (I)), а естественные краевые условия приобретают вид

$$\frac{\partial F}{\partial H_{Bx}} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial F}{\partial H_{By}} \frac{dx}{dl} + 2[\sigma(1)H_B - \varphi(1)] = 0. \quad (18)$$

В частности, если

$$F = H_{Bx}^2 + H_{By}^2 \quad (19)$$

(т.е. снова для случая "интерполирующего" уравнения Лапласа), то равенство (18) примет вид

$$\frac{\partial H_B}{\partial x} \frac{dy}{dl} - \frac{\partial H_B}{\partial y} \frac{dx}{dl} + \sigma(1)H_B = \varphi(1). \quad (20)$$

Или, в соответствии с (13) и (14) :

$$\left(\frac{\partial H_B}{\partial n} + \sigma(1)H_B \right)_{\Gamma} = \varphi(1). \quad (21)$$

Следовательно, для критериев качества (16) естественные краевые условия приобретают вид краевых условий третьего рода (смешанная краевая задача).

Наконец, рассмотрим еще одну задачу отыскания естественных краевых условий в комбинации с бигармоническим "интерполирующим" уравнением. То есть пусть задан критерий качества вида

$$I = \iint_S \left(\frac{\partial^2 H_B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_B}{\partial y^2} \right)^2 ds, \quad (22)$$

но при этом неизвестны требования, налагаемые на восстанавливаемое распределение на границе Γ области интерполирования S .

Вариация этого функционала равна:

$$\begin{aligned} \delta I &= 2 \iint_S (H_{Bxx} + H_{Byy}) (\tilde{\delta} H_{Bxx} + \tilde{\delta} H_{Byy}) ds = \\ &= \iint_S \Delta H_B \Delta \tilde{\delta} H_B ds, \end{aligned} \quad (23)$$

где по-прежнему

$$H_{Bxx} = \frac{\partial^2 H_B}{\partial x^2}, \quad H_{Byy} = \frac{\partial^2 H_B}{\partial y^2}$$

и Δ - оператор Лапласа.

Но, например, по направлению Ox :

$$\begin{aligned} \Delta H_B \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} \tilde{\delta} H_B &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Delta H_B \cdot \tilde{\delta} H_B + \frac{\partial}{\partial x} (\Delta H_B \cdot \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\delta} H_B) - \\ &- \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta H_B \tilde{\delta} H_B \right). \end{aligned} \quad (24)$$

следовательно:

$$\delta I = \iint_S \Delta H_B \cdot \Delta \tilde{\delta} H_B ds = \iint_S \Delta^2 H_B \cdot \tilde{\delta} H_B ds +$$

$$+ \iint_S \left[\frac{\partial}{\partial x} (\Delta H_B \cdot \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\delta} H_B) + \frac{\partial}{\partial y} (\Delta H_B \cdot \frac{\partial}{\partial y} \tilde{\delta} H_B) \right] ds - \quad (25)$$

$$- \iint_S \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta H_B \tilde{\delta} H_B \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial}{\partial y} \Delta H_B \tilde{\delta} H_B \right) \right] ds.$$

Применяя ко второму и третьему интегралам суммы (25) формулу Грина, приведем исследуемую вариацию критерия качества (22) к форме

$$\begin{aligned} \delta I = & \iint_{\Omega} \Delta^2 H_B \tilde{\delta} H_B \, d\Omega + \oint_{\Gamma} \Delta H_B \left[\left(\frac{\partial}{\partial x} \tilde{\delta} H_B \right) \frac{dy}{dl} - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\partial}{\partial y} \tilde{\delta} H_B \right) \frac{dx}{dl} \right] dl - \oint_{\Gamma} \left[\left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta H_B \right) \frac{dy}{dl} - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\partial}{\partial y} \Delta H_B \right) \frac{dx}{dl} \right] \tilde{\delta} H_B \, dl. \end{aligned} \quad (26)$$

Или, учитывая (13) и по аналогии с (14), (15), имеем

$$\begin{aligned} \delta I = & \iint_{\Omega} \Delta^2 H_B \cdot \tilde{\delta} H_B \, d\Omega + \oint_{\Gamma} \Delta H_B \cdot \frac{\partial}{\partial n} \tilde{\delta} H_B \, dl - \\ & - \oint_{\Gamma} \left(\frac{\partial}{\partial n} \Delta H_B \right) \cdot \tilde{\delta} H_B \, dl, \end{aligned} \quad (27)$$

откуда, по основной лемме вариационного исчисления [2], "интерполирующее" уравнение для восстанавливаемого распределения $H_B(x, y)$

$$\Delta^2 H_B \equiv \frac{\partial^4 H_B}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 H_B}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 H_B}{\partial y^4} = 0, \quad (28)$$

но, кроме того, получаем естественные краевые условия в виде

$$(\Delta H_B)_{\Gamma} = 0, \quad \left(\frac{\partial}{\partial n} \Delta H_B \right)_{\Gamma} = 0. \quad (29)$$

Таким образом, предлагаемый подход к решению задач интерполяции, кроме отмеченного в [1], позволяет осуществлять принципиально новую процедуру восстановления (и притом наилучшим образом) недостающей информации на самой границе Γ исследуемой области. Такая возможность для традиционных методов

недостаточна. Но, конечно, следует оговориться, что такая процедура уникальна только как применяемая к задачам интерполяции, в самом же вариационном исчислении она известна.

Л и т е р а т у р а

1. ВЕСЕЛОВ В.В., ГОНТОВ Д.П., ПУСТЫЛЬНИКОВ Л.М. Вариационный подход к задачам интерполяции. - "Вестник АН Каз. ССР", № 4, 1975.
2. КОРН Г., КОРН Т. Справочник по математике. М., "Наука", 1968.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие	3
БОРОВИКОВ А.М., ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А., ЕГАНОВА И.А., НАГОРСКИЙ В.А., НАЗАРОВ И.В., ОНОПРИЕНКО В.И., ПЕШЕЛЬ Г., УСМАНОВ Ф.А., ШАРАПОВ И.П. О программе работ по созда- нию основ для развития теоретической геологии.....	6
ВОРОНИН Ю.А., МУКИМОВ Р.А. Общие вопросы применения ма- тематических методов и ЭВМ при подсчете запасов по- лезных ископаемых.....	44
ВАНЕЧЕК М., ПЛУСКАЛ О., РЕНЕ М. Проблемы использования математических методов при подсчете запасов полезных ископаемых в Чехословакии.....	63
КУЗЬМИН В.И. Некоторые вопросы теории и методики оце- нок параметров запасов.....	68
ВОРОНИН Ю.А. Геолого-экономические вопросы теории по- исков полезных ископаемых.....	84
ВОРОНИН Ю.А., ЕГАНОВ Э.А., УСМАНОВ Ф.А. О типизации гео- логических задач в связи с применением математических методов и ЭВМ.....	108
УСМАНОВ Ф.А. Об одном подходе к математизации струк- турной геологии.....	130
ШАРАПОВ И.П. О генетической концепции в математичес- кой геологии.....	144
ОНОПРИЕНКО В.И. Генетическая концепция в геологии.....	163
ВЕСЕЛОВ В.В., ГОНТОВ Д.П., КОЧЕТКОВА О.В., ПУСТЫЛЬНИ- КОВ Л.М., ТОКАРЕВА Л.В. Применение методов вариацион- ного исчисления при построении функции по эксперимен- тальным данным.....	184
С о д е р ж а н и е	194

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
И ЭВМ ПРИ РЕШЕНИИ ТИПОВЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

(Материалы Всесоюзной конференции)

Под редакцией Ю.А.Воронина

Научные редакторы: В.А.Краснова
Л.И.Черная
Н.С.Хенкина

Технический редактор Т.А.Шандарова
Художник - оформитель И.Г.Бархатова
Ответственный за выпуск Ю.А.Будянский

Подписано в печать 22/1-1976 г. МНО7046
Формат бумаги 60x90 1/16 Объем 12,1 п.л. Уч.-изд. л. 13,6
Тираж 500 экз. Заказ № 19 Цена 85 коп.

Ротапринт ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 90

Цена 85 коп.

1405