



ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
ГЕОЛОГИЯ

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
MINISTRY OF GEOLOGY OF THE USSR
National committee of Geologists
of the USSR

INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS
XXV session

Reports of Soviet Geologists

GEOLOGICAL
INFORMATION
AND MATHEMATICAL
GEOLOGY

MOSCOW. „NEDRA“. 1976



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Национальный комитет геологов
Советского Союза

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС
XXV сессия

Доклады советских геологов

519

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ
ГЕОЛОГИЯ

1424

МОСКВА · «НЕДРА» · 1976



Редакционная коллегия:

Д. А. Родионов (ответственный редактор), *М. Д. Белонин*,
А. Б. Вистелиус, *А. В. Долицкий* (ученый секретарь),
Е. Е. Захаров, *Д. А. Казимиров*, *Г. И. Калмыков*, *Н. Ф. Константинов*,
А. Н. Олейников, *С. И. Романовский*

Editors:

D. A. Rodionov (editor-in-shef), *M. D. Belonin*, *A. B. Vistelius*,
A. V. Dolitsky (secretary), *E. E. Zacharov*, *D. A. Kazimirov*,
G. I. Kalmykov, *N. F. Konstantinov*, *A. N. Oleinikov*, *S. I. Romanovsky*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник содержит доклады советских исследователей по проблеме «Геологическая информация и математическая геология», подготовленные к XXV сессии Международного геологического конгресса.

Математические методы и электронные вычислительные машины прочно вошли в практику геологоразведочных работ, что в значительной степени помогает решать самые разнообразные геологические задачи. За последние годы весьма большое внимание уделяется задачам, связанным с поисками месторождений полезных ископаемых, особенно задачам прогнозирования. Кроме того, обилие геологоразведочной информации, появляющейся в результате поисковых работ, привело к необходимости создания специальных автоматизированных систем обработки данных при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Создание таких систем требует тщательной разработки их алгоритмической части применительно к решению задач прогнозирования, особенно количественных методов.

При проведении геологоразведочных работ не менее важна проблема их планирования, причем, конечно, желательно учитывать и экономические факторы. В подобной ситуации, введя ряд ограничений, иногда удается сформулировать задачу оптимального планирования процесса геологоразведочных работ.

В данном сборнике все доклады, связанные с перечисленными вопросами, объединены в первом разделе «Стратегия геологических поисков и разведки». В ней рассмотрена формальная постановка задач прогнозирования, принципы создания автоматизированных систем обработки информации при геологическом прогнозировании, вопросы оптимизации процесса геологоразведочных работ и некоторые другие.

Второе весьма важное направление развития математических методов в геологии — это применение теории случайных процессов для решения геологических задач. Необходимо подчеркнуть, что в подавляющем большинстве геологических ситуаций изучаемое явление можно охарактеризовать с помощью последовательности случайных величин, что позволяет использовать случайные процессы в качестве модели геологических явлений. При этом в качестве неслучайного параметра могут быть как временные, так и пространственные координаты.

При построении математических моделей геологических процессов особо важную роль играют так называемые цепи Маркова, или марковские последовательности. Их характерная особенность заключается в том, что вероятность перехода системы

в некоторое последующее состояние зависит только от состояния, в котором система находится в данный момент, и не зависит от всех предшествующих состояний, в которых она находилась прежде. Оказалось, что математические модели этого типа пригодны для описания самых разнообразных геологических процессов, начиная от формирования стратиграфических последовательностей и кончая процессами кристаллизации гранитов.

В связи с тем, что случайные процессы играют исключительно важную роль в развитии математической геологии и их будущее представляется весьма перспективным, доклады, посвященные этим вопросам, выделены в отдельный второй раздел.

Практически все геологоразведочные работы в результате приводят к информации о различных геологических объектах, которую можно разделить на две основных категории. К первой из них относится так называемая фактографическая информация, которая объединяет результаты непосредственных измерений свойств геологических объектов. Например, результаты химических анализов, измерений физических свойств пород, определений их минералогического состава и т. п. Ко второй категории относится информация, заключенная в публикациях, отчетах и других документах. Обе эти категории играют в геологии исключительно важную роль и в настоящее время требуют создания соответствующих автоматизированных систем сбора, поиска, хранения и обработки данных. Все доклады, посвященные этой проблеме, объединены в третьем разделе сборника.

Четвертый раздел содержит доклады, которые нельзя было отнести ни к одной из трех перечисленных выше проблем, но это ни в коей мере не умаляет их значения для развития математической геологии.

Так как объем сборника весьма небольшой, то при формировании разделов, посвященных соответствующим проблемам, пришлось ограничиться лишь типичными докладами по каждой проблеме, которые характеризуют состояние вопроса, но не исчерпывают то многообразие работ, которые ежегодно публикуются в Советском Союзе.

Д. А. Родионов

УДК 550.8 : 002.63

А. Н. Бугаец

К ФОРМУЛИРОВКЕ НЕКОТОРЫХ ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Задачей геологического прогнозирования является выявление тех или иных геологических объектов, участков или районов, в пределах которых целесообразно проведение поисковых или поисково-разведочных работ в более детальном масштабе по сравнению с уже проведенными.

Анализ этапа формализации и уточнения, проведенный ранее [1], позволяет отметить следующее. Процесс геологического прогнозирования по сути своей есть процесс принятия решений.

Реальные особенности решения прогнозных задач в геологии, по-видимому, сводятся к следующему:

1) отсутствие или, по крайней мере, неоднозначность содержательных и формальных критериев для выделения перспективных площадей и площадей для поиска, косвенный, недостаточно определенный характер связи используемых при прогнозировании сведений с фактом наличия или отсутствия прогнозируемых типов месторождений и, как следствие, стремление использовать как можно больше геолого-геохимических и геофизических характеристик в процессе прогнозирования, т. е. существенно многомерный характер исходных для решения задачи прогнозирования массивов информации;

2) нечеткий, «размытый», характер большого числа сведений, используемых при прогнозировании, и принципиальная, по-видимому, невозможность их однозначного описания;

3) невозможность сведения к той или иной формальной системе признаков, используемой при прогнозировании, всех содержательных представлений геолога и полного учета в такой системе его опыта и интуиции;

4) неоднозначный характер формулировок самых целей и задач геологического прогнозирования, отсутствие или неоднозначность формальных критериев, указывающих, что та или иная задача геологического прогнозирования решена;

5) заведомая «уникальность» месторождений, относительная редкость их появления и, отсюда, небольшое число описаний объектов, которые исследователь может использовать в качестве эталонных объектов или объектов для выяснения так называемых закономерностей локализации месторождений в пределах той или иной площади.

6) нечеткий и неоднозначный характер сведений о ситуациях, которые геолог склонен считать альтернативными и сведения о которых он использует для решения конкретных прогнозных задач («заведомо перспективные и заведомо бесперспективные геологические ситуации», «месторождения и неместорождения», и т. п.).

В настоящее время могут быть названы три модели принятия решений. К таким моделям могут быть отнесены теоретико-вероятностная модель принятия решений, модель, основанная на восстановлении неизвестной функции по случайно заданным точкам с известными значениями функции в этих точках, и модель, основанная на анализе взаимного расположения объектов в многомерном признаковом пространстве. Этим моделям соответствуют статистические методы принятия решений, методы теории распознавания образов и методы автоматической классификации или численной таксономии.

Однако анализ этих моделей показывает, что они или недостаточно адекватны вышеуказанным реальным условиям принятия решений при прогнозировании (имеется в виду статистическая модель из-за крайней затруднительности использования концепции объективной вероятности при прогнозных построениях), или для них отсутствуют какие-либо строгие и однозначные способы выбора и обоснования тех формальных условий, выполнение которых гарантирует получение решений, оптимальных в рамках этих моделей (методы теории распознавания образов и автоматической классификации).

Исходя из этого основную задачу автоматизированной системы обработки данных для геологического прогнозирования можно определить в настоящее время только неформальным образом: повышение достоверности прогнозных решений на основе использования математических моделей оценки оптимальных решений во взаимодействии с опытом и интуицией лица, принимающего решения.

По отношению к проектированию математического обеспечения система, решающая эту задачу, должна, по-видимому, отвечать следующим требованиям:

1) процесс получения прогнозных решений должен проходить путем многократных итераций и оценки промежуточных решений на основе опыта и интуиции лица принимающего решения;

2) математическое обеспечение системы обработки данных должно обеспечивать получение вместе с тем или иным решаю-

щим правилом определенной системы признаков с использованием содержательных и интуитивных представлений лица, принимающего решение;

3) возможности проведения такого процесса должны обеспечиваться наличием в системе большого набора разнообразных формальных процедур оценки и выбора как решающих правил, оптимальных в рамках используемых формальных моделей принятия решений, так и оценки и выбора наиболее подходящего признакового пространства;

4) система должна обеспечивать возможность использования разнообразных методов анализа внутреннего строения совокупностей многомерных данных, взаимного расположения объектов друг относительно друга в этих совокупностях, выделение тех или иных однородных групп объектов, и т. п.

Исходя из этих принципов можно считать целесообразным следующий состав (характер блоков) математического обеспечения систем обработки данных для геологического прогнозирования.

1. *Блок визуализации многомерных данных и сжатия информации для анализа внутреннего строения совокупностей многомерных данных.*

Содержательные задачи, решаемые этим блоком, достаточно ясны и сводятся к предоставлению лицу, принимающему решения, возможности анализировать взаимное расположение тех или иных геологических объектов друг относительно друга в пространствах, допускающих визуальный анализ (двух- и трехмерных), но построенных на основе учета всей имеющейся многомерной информации. В формальном плане задачи, решаемые этим блоком, сводятся или к поиску таких преобразований исходной системы признаков, чтобы в новом двух- или трехмерном признаковом пространстве определенным образом выбранная формальная мера разброса или неоднородности принимала бы максимальное значение, или к поиску таких преобразований исходной системы признаков, чтобы в новом пространстве низкой размерности взаимное расположение объектов по определенному образом выбранному формальному критерию было бы в максимальной степени близким к взаимному расположению объектов в исходном многомерном признаковом пространстве.

2. *Блок автоматической классификации и численной таксономии.* В содержательном плане задачи, решаемые этим блоком, заключаются в анализе внутреннего строения совокупностей многомерных данных, в выборе признаков, в поиске аномальных, исключительных объектов, разбиении исходных множеств геологических объектов на однородные подмножества для их самостоятельного анализа. В формальном плане блок решает задачи оптимизации выделения однородных в смысле определенных формальных критериев групп объектов в многомерном

признаковом пространстве и оценки степени сходства этих групп друг с другом также по некоторым формальным критериям.

3. *Блок оценки решающих правил и выбора признаков на основе трех вышеуказанных моделей принятия решений.* В данном блоке на основе упомянутых ранее моделей формализуются понятия перспективного геологического объекта и оптимального решения и решается задача оценки и выбора стратегии обработки многомерных исходных данных, оптимизирующей процедуру выделения перспективных геологических объектов.

Желательно, чтобы при аппроксимации многомерных распределений выбирались бы такие способы аппроксимации, которые требовали бы минимума информации для восстановления многомерных функций распределения. Это — первый критерий, который можно установить при проектировании блока принятия решений. Второе — в блоке необходимо иметь решающие правила, устойчивые относительно введенных предположений и упрощений, при которых они являются оптимальными, т. е. по возможности пользоваться так называемыми крепкими тестами. Этот критерий тоже можно удовлетворить, построив решающие правила, оптимальные или субоптимальные при достаточно больших отступлениях от условий, в которых они являются оптимальными. Третье — необходимо иметь решающие правила, оптимальные в таких ограничивающих условиях, которые наиболее часто и легко достигаются на практике. Это требование также осуществимо при конструировании блока принятия решений. Четвертое — необходимо пользоваться дважды устойчивыми решающими правилами, т. е. устойчивыми по отношению к нарушениям условий, при которых они теоретически оптимальны, и устойчивыми в вычислительном смысле, т. е. при реализации их оценок на ЭВМ. Этому требованию также можно удовлетворить в системах обработки данных.

В условиях второй модели принятия решений, по-видимому, необходимо пользоваться следующими критериями при выборе конкретных решающих правил: 1) так называемые оценки функций роста класса решающих правил, по В. Н. Вапнику [5], должны быть достаточно умеренными; 2) решающие правила должны быть адаптивными, т. е. в определенном смысле оптимально обрабатывать данные, начиная с малых объемов выборок, легко корректироваться и обладать свойством асимптотической оптимальности при росте числа наблюдений; 3) решающие правила должны позволять работать с небольшим числом объектов по свойству осуществления перебора и оценки достаточно большого числа сочетаний заданных исследователем признаков.

Что касается третьей модели принятия решений, в которой понятие перспективной площади или объекта формализуется как понятие некоторого аномального объекта, то здесь пока трудно дать какие-либо рекомендации относительно выбора конкретного алгоритма выделения и оценки таких объектов, кро-

ме, быть может, одной: результаты такого выделения не должны явным образом зависеть от первоначальных объемов анализируемых групп объектов.

Трудности построения математического обеспечения блока принятия решений связаны, как это указывалось ранее, не столько со случайным характером используемых данных, сколько с неопределенностью, «размытостью», наших понятий, объектов, классов объектов. Это — так называемые размытые классы множеств, по терминологии Лотфи Заде [28], и, по-видимому, введенные этим исследователем операции размытости и операции над размытыми множествами, могут определить построение моделей принятия решений, более адекватных реальным условиям, при которых оперируют не с дискретными, строго определенными множествами, что, по-видимому, в настоящее время для большинства случаев принципиально осуществить нельзя. Это вызвало в свое время потребность в формализации наших основных геологических понятий с их размытыми эквивалентами, когда множество определяется парой: объект — степень принадлежности объекта к тому или иному множеству.

Таким образом, в третий блок автоматизированной системы обработки данных для прогнозирования необходимо, по-видимому, включить наряду с алгоритмами, основанными на указанных ранее моделях принятия решений и отвечающих перечисленным выше «внутренним» критериям, также алгоритмы принятия решений, базирующихся на использовании концепции размытых множеств.

Разрабатываемая в соответствии с указанными принципами автоматизированная система обработки данных для геологического прогнозирования, в создании которой вместе с автором принимают участие Г. К. Дворниченко, Л. Л. Горбунова, А. П. Мацак, В. Я. Даутов, Л. А. Максименко, В. И. Подворчан, Н. С. Шаркина и Н. И. Терехова, в настоящее время представляет пользователю следующие возможности при обработке данных для целей геологического прогнозирования.

Блок сжатия и визуализации многомерных данных включает в себя алгоритмы визуализации многомерных данных с помощью разложения Карунена — Лоэва и быстрых преобразований Фурье, Адамара и Хаара, использующих алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ) по Кули — Тьюки, алгоритм БПФ для действительных чисел [25], алгоритм БПФ, основанный на способе факторизации матриц, предложенном Гудом [18] (для различных порождающих матриц, для различных разрежений). Алгоритмы быстрых преобразований Уолша — Адамара (БПУ) основаны или на использовании кронекеровских произведений матриц со сдвигом строк, или на использовании алгоритма Гуда [15] факторизации матриц (для различных порождающих матриц, для различных разрежений). Быстрые преобразования Хаара выполняются или с помощью алгоритма [14], аналогичного

методу Кули — Тьюки, или с помощью алгоритма Гуда факторизации матриц, или с помощью кронекеровских произведений соответствующих матриц [15]. В блок включены также алгоритмы быстрых двумерных преобразований по Фурье, Уолшу — Адамару и Хаару, включающие также методы двумерного преобразования по подблокам квадратных матриц.

В блок входят также алгоритмы многомерного шкалирования, позволяющие отразить исходную многомерную структуру в пространства меньшей размерности с минимальными искажениями — алгоритмы Дж. В. Крускала [19], С. У. Саммона [23] и К. Фукунада и Д. Р. Олсена [16].

Во второй блок вошел комплекс программ по автоматической классификации и численной таксономии, построенный по модульному принципу и охватывающий ряд приемов и способов группирования, критериев группирования и мер сходства. В комплекс включены модули по оценке мер сходства: меры сходства типа потенциальных функций с использованием расстояний по Эвклиду, Хэммингу, взвешенных расстояний, меры сходства Роджерса — Танимото и меры сходства по Дейку. Модули по оценке критериев группирования следующие: критерий группирования по среднему, критерий группирования по «ближайшей точке», критерий группирования по «наиболее удаленной точке», критерий группирования Роджерса — Танимото, критерий группирования по среднему с использованием «гибкой метрики» Уильямса — Ланса, [27]. Модули по способам группирования включают несколько модификаций алгоритмов «Спектр» и «Объединение», по А. А. Дорофеюку [9], алгоритм группирования объектов по критерию Роджерса — Танимото с изменяющимся порогом, алгоритм упорядочения объектов по критерию Роджерса — Танимото с заданным порогом, алгоритмы «Форэль» и «Кратчайший незамкнутый путь» Н. Г. Загоруйко и В. Н. Елкиной [10, 11] и алгоритм М. Розе [20], основанный на анализе матриц смежности. Включение в этот набор алгоритмов группирования, основанных на использовании «гибких метрик», позволяет определенным образом учитывать зависимость результатов классификации от объемов исходных групп объектов, что имеет особое значение для способа оценки перспективности тех или иных объектов по их аномальности на основе третьей модели принятия решений. Ряд вспомогательных программ относится к построению дендрографов по алгоритмам типа «Объединение» и к построению карт однородных областей по результатам автоматической классификации.

Третий блок, блок принятия и оценки решений, включает в себя ряд алгоритмов, основанных на вышеуказанных формальных моделях принятия решений. В него включены в соответствии с первой моделью принятия решений линейное правило решения Фишера и квадратичное решающее правило в предположении нормальности многомерных функций распределения, линейное

решающее правило Андерсона — Бахадура в предположении нормальности распределения, линейных комбинаций векторов, описывающих исходные геологические объекты, линейное и ряд нелинейных решающих правил Шоу при упрощающем предположении, что многомерные функции распределения достаточно хорошо аппроксимируются произведениями функций распределения низших порядков.

В блок включены процедуры получения устойчивых линейных решающих правил по Фишеру и Андерсону — Бахадуру как за счет уменьшения влияния ошибок округления при реализации численных процедур на ЭВМ, так и за счет снижения размерности пространства признаков. При этом были использованы оценки решающих правил с помощью псевдообратных матриц по Муру и Пенроузу и использования методов нахождения этих матриц по Н. К. Синха и У. Пилле [24], итерационный процесс уточнения решений систем линейных уравнений по Форсайту и Молеру [13], методы проектирования на главные оси разложения Карунена — Лозва и способ оценки решающих правил в признаковом пространстве низкой размерности по Рао [7].

Второй модели принятия решений отвечают следующие алгоритмы, включенные в блок принятия решений: адаптивные линейные решающие правила с использованием методов стохастической аппроксимации, адаптивные линейные решающие правила на основе критерия метода наименьших квадратов, класс решающих правил, основанных на использовании собственных векторов ковариационных матриц, линейное решающее правило, по Себестиану, и решающее правило, основанное на оценке так называемой энтропии преобразованных по координатным осям разложения Карунена — Лозва объектов, предложенной С. Ватанабе [6], и его различные модификации, предложенные в Лаборатории математических методов КазИМС, которые могут быть использованы для оценки решающих правил в случае, когда в распоряжении исследователя имеются сведения только об одном классе объектов.

В блок включены также решающие правила с использованием тупиковых тестов и тесторов бинарных таблиц как на основе оценок информационных весов объектов и сравнении их с информационными весами объектов с известной промышленной ценностью [8], так и на основе использования алгоритмов голосования тупиковых тестов и тесторов, предложенных А. П. Мацаком [12] и с применением экономных алгоритмов нахождения тупиковых тестов и тесторов с помощью генератора сочетаний, а также решающие правила типа алгоритма «Кора 3».

Для получения решений в рамках третьей модели принятия решений в блоке используются результаты работы алгоритмов автоматической классификации второго блока системы обработки данных и алгоритмы классификации, использующие функции принадлежности к «размытым» множествам (алгоритмы

Е. Х. Руспини [21, 22], Дж. Гитмана [17] и оценки размытых бинарных отношений между объектами (алгоритм С. Тамура и др. [26]).

В качестве вспомогательного в систему включен также блок проверки статистических гипотез, состоящий в настоящее время из программы проверки одномерных гипотез о моментах распределений параметрическими и непараметрическими методами, программы регрессионного и корреляционного анализа, программы оценки информационных коэффициентов корреляции, программы проверки гипотез о параметрах многомерных распределений, программы оценки канонических корреляций и анализа таблиц сопряженности признаков.

Пользуясь вышеописанными блоками, лицо, принимающее решение, может в настоящее время при выработке прогнозных решений проанализировать структуру своих данных, описанных большой системой признаков, оценить степень сходства прогнозируемых объектов с известными ему геологическими ситуациями, выделить однородные группы объектов и объекты, «исключительные» по комплексу своих свойств, и получить целый ряд решающих правил с использованием формальных моделей принятия оптимальных решений.

ABSTRACT

Real decision making conditions for prognoses and three mathematical decision making models are considered. From the character of interrelations between real conditions of decision making and their models, the main task of automatic data processing system for prognoses is formulated as follows — the increase of reliability of prognostic decisions on the base of using different mathematical models for estimation of optimal decisions in interaction with the experience and intuition of a decision maker.

With respect to the design software questions, the system which decides this task must respond to the next requirements:

1. The process of acceptance of prognostic decisions must pass by way of successive approximations and estimation of intermediate decisions on the base of experience and intuition of a decision maker.

2. Possibilities of conducting such a process are provided by the presence in the system a large set of different formal procedures of estimation and selection both decision rules and suitable feature space.

3. The system must provide the possibility of using different methods for analysis of intrinsic structure in multivariate data population and the methods of multidimensional data visualization.

Resulting from these principles the rational composition of software processing systems and requirements to which this software must satisfy are considered.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаец А. Н. Некоторые вопросы создания математического обеспечения систем обработки данных для прогноза и поиска месторождений твердых полезных ископаемых.—В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, «Наука», 1973, с. 168—176.
2. Бугаец А. Н., Дворниченко Г. К. Математическое обеспечение систем обработки данных—комплекс программ по предварительной обработке и сжатию информации на основе использования быстрых вычислительных методов ортогональных разложений.—В кн.: Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии». Алма-Ата, 1974, с. 62—64.
3. Бугаец А. Н., Горбунова Л. Л., Подворчан В. И. Математическое обеспечение систем обработки данных—комплекс программ по методам автоматической классификации.—В кн.: Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии», Алма-Ата, 1974, с. 67—68.
4. Бугаец А. Н., Подворчан В. И., Максименко Л. А. Математическое обеспечение систем обработки данных—комплекс программ по оценке устойчивых статистических решающих правил.—В кн.: Тезисы семинара «Применение математических методов и ЭВМ в геологии», Алма-Ата, 1974, с. 69—71.
5. Вапник В. Н. Машины, обучающиеся распознаванию образов.—В кн.: Алгоритмы обучения распознаванию образов. М., «Сов. радио» 1973, с. 5—28.
6. Ватанабе С. Разложение Карунева—Лоэва и факторный анализ. Теория и приложения.—В кн.: Автоматический анализ сложных изображений. М., «Мир», 1969, с. 254—275.
7. Гольдин С. В., Поплавский Н. П. Методы повышения устойчивости алгоритма дискриминантной функции.—В кн.: Математические методы в нефтяной геологии и геофизике. Тюмень, Изд-во Ин-та Гипротюменьнефтегаз, 1970, вып. 36, с. 129—155. (Труды ЗапСибНИГНИ, вып. 36).
8. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. О математических принципах классификации предметов и явлений.—В кн.: Дискретный анализ № 7. Новосибирск, «Наука», 1966, с. 3—15.
9. Дорофеев А. А. Алгоритмы автоматической классификации (обзор).—«Автоматика и телемеханика», 1971, № 12, с. 78—113.
10. Елкина В. Н., Загоруйко Н. Г. Об алфавите объектов распознавания.—В кн.: Вычислительные системы, вып. 22. Новосибирск, «Наука», 1966, с. 59—76.
11. Елкина В. Н., Загоруйко Н. Г. Количественные критерии качества таксономии и их использование в процессе принятия решений.—В кн.: Вычислительные системы, вып. 36. Новосибирск, «Наука», 1969, с. 29—46.
12. Мацак А. П. Проблемы обучения по малым выборкам при геологическом прогнозировании.—«Изв. АН КазССР, сер. физ.-мат.», 1969, № 5, с. 29—34.
13. Форсайт Дж., Молер К. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений. М., «Мир», 1969. 167 с.
14. Ahmed N., Natarajan T., Rao K. R. Cooley—Tukey—Type Algorithm for the Haar—transform.—„Electron“, L., 1973, Vol. 9, N 12, p. 276—278.
15. Andrews H. C., Caspari K. L. A generalized technique for spectral analysis.—„IEEE. Trans. Comput.“, 1970, vol. 19, N 1, p. 16—25.
16. Fukunaga K., Olsen D. R. An algorithm for finding intrinsic dimensionality of data.—„IEEE Trans. Comput.“, 1971, vol. C-20, N 2, pp. 176—183.
17. Gitman I., Lëvice M. D. An algorithm for detecting unimodal fuzzy sets and its application as a Clustering technique.— „IEEE Trans. Comput.“, 1970, vol. 19, N 7, p. 583—593.

18. Good I. J. The interaction algorithm and practical Fourier Series.— „J. Roy Statistic. Society.“, 1958, vol. 20, S. B., p. 361—372.
19. Kruskal J. B. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method.— „Psychometrika“, 1964, vol. 20, N 2, p. 115—129.
20. Rose M. Classification of aset of elements.— „Computer J.“, 1964, vol. 7, N 3, p. 208—211.
21. Ruspini E. H. A new approach to Clustering.— „Inf. Control“, 1969, vol. 15, p. 22—32.
22. Ruspini E. H. Numerical methods for fuzzy Clustering.— „Information Sciences“, 1970, vol. 2, N 3, p. 319—350.
23. Sammon S. W., Jr. A nonlinear mapping for data structure analysis.— „IEEE Trans. Comput.“, 1969, vol. C—18, N 5, p. 401—409.
24. Sinha N. K., Pille W. On line parameter estimation, using matrix pseudoinverse.— „Pros. IEEE“, 1971, vol. 118, N 8, p. 1041—1046.
25. Singleton R. C. On computing the fast Fourier transform.— „Commun. ACM“, 1967, vol. 10, N 10, p. 647—654.
26. Tamura S., Higuchi S., Tanaka K. Pattern Ceussification based on fuzzy Relations.— „IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.“, 1971, VSMC-i, N 1, p. 61—66.
27. Williams W. T., Clifford H. T., Lance J. M. Group-size dependence: a rationale for choice between numerical classifications.— „The Computer Journal“, 1971, vol. 14, N 2, p. 157—162.
28. Zadeh L. A. Fuzzy sets.— „Inform. Control“, 1965, vol. 8, p. 338—353.

УДК 550.8 : 518.9

А. М. Марголин

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ЗАДАЧАМ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Экономико-математическая теория управления и, в частности, теория игр и статистических решений [1, 2] создают достаточные возможности для постановки задач оптимального планирования геологоразведочных работ с учетом степени неопределенности геологоразведочной информации и экономического риска горнодобывающих отраслей.

Между основными понятиями упомянутых теорий и задачами планирования геологоразведочных работ имеется весьма тесная связь.

Как известно, теория игр рассматривает принятие решений в условиях неопределенности, которая создается как неизвестными действиями противника, так и недостаточной осведомленностью об условиях, в которых проводятся операции.

Каждая из сторон располагает некоторым множеством доступных для нее решений — *допустимых стратегий*. В условиях неопределенности выбор одной из допустимых стратегий всегда сопряжен с некоторым риском (недостаток информации всегда опасен, и за него приходится расплачиваться). *Оптимальной стратегией* называется такая стратегия, которая при многократ-

ном повторении игры обеспечивает данному игроку максимально возможный средний выигрыш.

Если поведение одной из противоборствующих сторон конфликта не содержит элемента сознательного поведения, то единственным источником неопределенности служит слабая осведомленность об условиях, в которых проводится операция. Анализ таких ситуаций, называемых «игрой против природы» и типичных для геологической разведки, составляет предмет теории статистических решений.

Основные положения теории статистических решений состоят в следующем. Пусть имеется n допустимых стратегий ($A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$), эффективность каждой из которых зависит от того, какое из предполагаемых m состояний «природы» ($X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_m$) имеет место. Каждой паре (A_i, X_k), состоящей из действия A_i при состоянии природы X_k , отвечает свой исход, характеризующийся «выигрышем» a_{ik} . Требуется выбрать некоторую стратегию A , которая предпочтительнее остальных допустимых стратегий, т. е. выбрать оптимальную стратегию.

Ясно, что при выборе оптимальной стратегии следует исходить из матрицы выигрышей (a_{ik}), которая может быть преобразована в матрицу «рисков» (r_{ik}).

Если заранее знать состояние «природы» X_k , то можно выбрать ту стратегию A_k , которой соответствует максимальный выигрыш

$$\beta_k = \max_i a_{ik}.$$

Риском r_{ik} при использовании стратегии A_i в условиях X_k называется разность между максимальным выигрышем β_k , который был бы получен, если бы мы с достоверностью знали состояние X_k и приняли наилучшую в условиях X_k стратегию, и выигрышем a_{ik} , который будет получен в тех же условиях, если принимать стратегию A_i , т. е.

$$r_{ik} = \beta_k - a_{ik}. \quad (1)$$

Каковы критерии выбора наилучшей стратегии в теории статистических решений? Они различны в зависимости от того, что нам известно о возможных состояниях «природы». Наиболее простым и типичным для геологоразведочных ситуаций является случай, когда известны вероятности возможных состояний природы

$$p_k = P(X_k), \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

В этом случае в качестве показателя эффективности некоторой стратегии A_i естественно принять среднее значение (математическое ожидание) выигрыша —

$$\bar{a}_i = \sum_k p_k a_{ik}, \quad (2)$$



или среднее значение риска —

$$\bar{r}_i = \sum_k p_k r_{ik}. \quad (3)$$

Показательно, что стратегия, характеризующая наибольшим средним выигрышем \bar{a} , характеризуется также наименьшим риском \bar{r} .

Если в качестве критерия принять минимум величины ожидаемого риска — \bar{r} (или максимум ожидаемого выигрыша — \bar{a}), то выбор лучшей стратегии в условиях неопределенности превращается в задачу о выборе лучшей стратегии в условиях полной определенности, но находящая оптимальная стратегия является наилучшей лишь в среднем.

Одной из центральных проблем методики разведки является определение рациональной степени разведанности месторождений на той или иной стадии их изучения и промышленного освоения. В этой связи особого внимания заслуживает одна из главных задач теории статистических решений, состоящая в выяснении того, какой должна быть разумная плата за дополнительную информацию для выбора лучшей стратегии.

Предположим, что проведен идеальный эксперимент, позволяющий получить абсолютно точное представление о истинном состоянии «природы» X . Затраты на эксперимент составляют S . Если бы эксперимент не проводился, то избранная оптимальная стратегия обеспечивала максимальный средний выигрыш —

$$\max_i \sum_k p_k a_{ik},$$

однако после проведения идеального эксперимента с вероятностью p_k будет выявлено истинное состояние «природы» X_k и, следовательно, с той же вероятностью будет принята стратегия, позволяющая довести выигрыш до максимальной величины $\beta_k = \max_i a_{ik}$. С учетом вероятностей p_k и затрат S ожидаемый выигрыш после идеального эксперимента составит

$$\sum_k p_k \beta_k - S.$$

Проведение эксперимента экономически оправдано, когда

$$\sum_k p_k \beta_k - S > \max_i \sum_k p_k a_{ik}, \quad (4)$$

или когда

$$R \equiv \min_i \bar{r}_i > S. \quad (5)$$

Иначе говоря, идеальный эксперимент (полное устранение неопределенности) целесообразно проводить, если затраты на эксперимент S не превосходят минимизированный средний (ожидаемый) риск R .

Величина R выражает «стоимость неопределенности», или «ожидаемую ценность полной информированности», и применительно к геологической разведке может характеризовать верхний предел затрат на изучение месторождения.

Полное устранение неопределенности — предельная ситуация, не типичная для практических условий (в том числе и для геологической разведки). На практике эксперимент не приводит к точному установлению состояния «природы» X_k , а лишь уточняет представление о нем. Это уточнение приводит к тому, что априорные вероятности состояний природы p_k заменяется на апостериорные вероятности, и величина минимизируемого ожидаемого риска R сокращается.

Проведение неидеального эксперимента (не приводящего к полному устранению неопределенности) экономически оправдано, если

$$S < \Delta R, \quad (6)$$

где ΔR — сокращение минимального ожидаемого риска R за счет эксперимента.

До сих пор речь шла о принятии решений, когда имеется m дискретных состояний природы и ограниченное число n допустимых стратегий. Однако изложенные выше положения распространяемы на ситуации, в которых источники неопределенности следует интерпретировать как непрерывные случайные величины, а допустимые стратегии — как непрерывные переменные.

Мы привели краткие сведения об основном содержании теории статистических решений с тем, чтобы показать, что принципиальная сущность задач оптимального планирования геологоразведочных работ полностью соответствует основным положениям теории статистических решений и потому эта теория может быть использована как математическая база для корректного формулирования и решения задач оптимального выбора объемов и сроков проведения геологоразведочных работ на месторождениях.

На возможность использования теории статистических решений для оптимального планирования геологической разведки уже обращалось внимание в литературе, вместе с тем до сих пор нет работ, в которых была бы преодолена главная трудность такого использования, заключающаяся в раскрытии основных категорий теории статистических решений применительно к геологической разведке, т. е. в конкретном указании на то, каковы допустимые стратегии, источники неопределенности (возможные состояния «природы»), функции экономических потерь (функции экономического риска) в задачах оптимального планирования геологоразведочных работ.

Попытаемся восполнить этот пробел на примере детальной разведки, предшествующей передаче месторождения в промышленное освоение.

Основная задача детальной разведки — собрать данные о месторождении, необходимые для проектирования и строительства горнодобывающего предприятия. В процессе детальной разведки уточняются сведения о количестве запасов руды, среднем содержании полезного компонента в руде, коэффициенте извлечения полезного компонента при обогащении руды, о себестоимости добычи и переработки руды и удельных капиталовложениях. В результате таких уточнений оказывается возможным при проектировании рудника удачнее выбрать производительность предприятия, промышленные кондиции на минеральное сырье и границы отработки запасов, что повышает экономическую эффективность освоения месторождения.

В терминах теории статистических решений детальная разведка является экспериментом, снижающим неопределенность выбора стратегии освоения месторождения. Неопределенность сокращается за счет уменьшения дисперсии оценок основных геологических (запасы, среднее содержание, коэффициент извлечения) и стоимостных (себестоимость, удельные капиталовложения) параметров месторождения. Подлежащая выбору стратегия освоения месторождения выражается рядом технико-экономических параметров будущего предприятия (производительность, кондиции на содержание компонента в руде).

Экономический выигрыш от освоения месторождения может быть выражен дисконтированной прибылью [3], величина которой зависит как от параметров состояния (геологических и стоимостных параметров месторождения), так и от параметров стратегии (параметров будущего предприятия). Например, применительно к рудным месторождениям с подземным способом разработки дисконтированная прибыль от освоения месторождения может быть определена следующим приближенным равенством:

$$B = e^{-\frac{\varepsilon T(z)}{\pi}} \left\{ \frac{z}{\varepsilon} [\eta \tau m(u) - c(z)] \left[1 - e^{-\frac{\varepsilon x(u)}{z}} \right] - K(z) e^{\varepsilon T(z)} \right\}, \quad (7)$$

где z — проектная годовая производительность предприятия по руде; u — минимальное промышленное содержание металла в руде; $x(u)$, $m(u)$ — запас руды и среднее содержание металла в руде, соответственно, как функции кондиции u ; η — коэффициент извлечения металла в концентрат при обогащении; η — цена металла в концентрате; ε — норма дисконтирования; $T(z)$, $c(z)$, $K(z)$ — нормативная продолжительность строительства предприятия, себестоимость добычи и переработки руды, капиталовложения в строительство предприятия, соответственно, как функции проектной производительности z .

Чтобы подчеркнуть связь с предыдущим изложением, представим формулу (7) в следующем общем виде:

$$a_{ik} = B(A_i | X_k) = B(u, z/x, m, \eta, c, K, T), \quad (8)$$

где a_{ik} — выигрыш от применения стратегии A_i при состоянии «природы» X_k ; A_i — стратегия освоения месторождения, выражаемая парой управляемых параметров — u, z ; X_k — состояние «природы», выражаемое набором параметров состояния — x, m, η, c, K, T .

Оценки геологических (x, m, η) и стоимостных (c, K, T) параметров месторождения, получаемые после того или иного этапа разведки, являются случайными величинами, дисперсии которых применительно к типу месторождения и объему проведенных геологоразведочных работ, а также геолого-экономических исследований могут быть определены.

Введем следующие обозначения. Через \bar{x}_j обозначим истинное значение j -го параметра месторождения; через x_j — разведочную оценку j -го параметра месторождения, являющуюся случайной величиной с плотностью вероятности $\varphi_j(x_j)$; через σ_j^2 — дисперсию оценки j -го параметра. Будем считать, что разведочные оценки параметров месторождения статистически независимы и не содержат систематических ошибок, которые в принципе всегда могут быть выявлены и устранены введением надлежащих поправок. Через \bar{z} и \bar{u} обозначим подлинно оптимальные значения производительности предприятия и кондиций на содержание, которые удалось бы установить, если бы были известны истинные значения параметров месторождения, а через z^* и u^* — те значения производительности и кондиций, которые являются оптимальными в условиях имеющейся неопределенности. Наконец, через z и u будем обозначать произвольные значения соответствующих величин.

В качестве показателя эффективности пары управляемых параметров z и u , согласно (2), следует рассматривать математическое ожидание выигрыша $a(u, z)$, равное

$$\begin{aligned} \bar{a}(u, z) &= M \{B(u, z/x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(x_1) \dots \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(x_j) \dots \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_n(x_n) \times \\ &\times B(u, z/x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_j \dots dx_n. \end{aligned} \quad (9)$$

Если x_j представить в виде суммы $x_j = \bar{x}_j + \delta x_j$, где δx_j — случайное отклонение оценки x_j относительно \bar{x}_j с диспер-

сией σ_j^2 , и разложить функцию B по степеням δx_j , то, ограничиваясь вторыми степенями δx_j , получим:

$$\bar{a}(u, z) \simeq B(u, z/\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_j, \dots, \bar{x}_6) + \sum_{j=1}^6 \frac{\sigma_j^2}{2} B''_{jj}, \quad (10)$$

где B''_{jj} — вторая производная от $B(u, z/x_1, \dots, x_j, \dots, x_6)$ по параметру x_j .

Формула (7) показывает, что B линейно зависит от всех параметров месторождения, за исключением запасов руды x . Поэтому вторые производные B''_{jj} по всем параметрам, кроме запасов руды x , равны нулю.

В условиях имеющейся неопределенности оптимальные значения производительности предприятия z^* и кондиции u^* должны быть такими, чтобы ожидаемый выигрыш \bar{a} являлся максимальным и равнялся

$$\begin{aligned} \bar{a}(u^*, z^*) &= \max_{u, z} \bar{a}(u, z) = \\ &= \max_{u, z} \{M[B(u, z/x_1, \dots, x_j, \dots, x_6)]\}, \end{aligned} \quad (11)$$

т. е. u^* и z^* должны удовлетворять системе двух уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial u} \bar{a}(u, z) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial z} \bar{a}(u, z) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

и потому являться функциями от оценок параметров месторождения:

$$u^* = u(x_1, \dots, x_j, \dots, x_6); \quad z^* = z(x_1, \dots, x_j, \dots, x_6).$$

Принятие значений u^* и z^* в качестве оптимальной стратегии при освоении месторождения максимизирует ожидаемую дисконтированную прибыль и потому минимизирует ожидаемый риск. Минимум ожидаемого риска равен, очевидно, разности между прибылью

$$\bar{a}(\bar{u}, \bar{z}) = B(\bar{u}, \bar{z}/\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_j, \dots, \bar{x}_6), \quad (13)$$

которая могла бы быть получена при проектировании предприятия с подлинно оптимальной производительностью \bar{z} и при подлинно оптимальной кондиции на содержание \bar{u} и той прибылью

$$\bar{a}(u^*, z^*) = B(u^*, z^*/\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_j, \dots, \bar{x}_6) + \sum_{j=1}^6 \frac{\sigma_j^2}{2} B''_{jj}, \quad (14)$$

которую мы ожидаем получить при выбранной оптимальной стратегии (u^*, z^*) .

Представим u^* и z^* в виде сумм: $u^* = \bar{u} + \delta u$; $z^* = \bar{z} + \delta z$, где δu и δz — отклонения выбранных значений u^* и z^* относительно подлинно оптимальных значений тех же параметров \bar{u} , \bar{z} . Разлагая величину $\bar{a}(u^*, z^*)$ по степеням отклонений δu и δz , получим

$$\bar{a}(u^*, z^*) \simeq \bar{a}(\bar{u}, \bar{z}) + M \left\{ (\delta u) \bar{a}'_u + (\delta z) \bar{a}'_z \right\} + \frac{1}{2} \left\{ (\delta u)^2 \bar{a}''_{uu} + 2(\delta u)(\delta z) \bar{a}''_{uz} + (\delta z)^2 \bar{a}''_{zz} \right\}. \quad (15)$$

где \bar{a}'_u , \bar{a}'_z , \bar{a}''_{uu} , \bar{a}''_{uz} , \bar{a}''_{zz} — производные от $\bar{a}(u^*, z^*)$ по соответствующим параметрам.

Поскольку выбор значений u^* и z^* зависит от разведочных оценок параметров месторождения x_j , то отклонения δu и δz являются случайными величинами как функции случайных аргументов и могут быть выражены в первом приближении в виде следующих сумм:

$$\delta u = \sum_{j=1}^6 u'_j \delta x_j; \quad \delta z = \sum_{j=1}^6 z'_j \delta x_j, \quad (16)$$

где u'_j и z'_j — произведение от $u^* = u(x_1, \dots, x_j, \dots, x_6)$ и $z^* = z(x_1, \dots, x_j, \dots, x_6)$ по оценкам параметров x_j . Из того, что u^* и z^* являются решением системы (12), следует:

$$u'_j = \frac{\bar{a}''_{uj} \bar{a}''_{zz} - \bar{a}''_{zj} \bar{a}''_{uz}}{\bar{a}''_{uu} \bar{a}''_{zz} - (\bar{a}''_{uz})^2}; \quad (17)$$

$$z'_j = \frac{\bar{a}''_{zj} \bar{a}''_{uu} - \bar{a}''_{uj} \bar{a}''_{uz}}{\bar{a}''_{uu} \bar{a}''_{zz} - (\bar{a}''_{uz})^2},$$

где нижний индекс j означает производную по x_j . Используя (15) и (16), легко показать, что минимум ожидаемого риска, определяемый как разность прибыли (13) и математического ожидания прибыли (14), составляет

$$R = \min \bar{r} = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^6 \sigma_j^2 \left[(u'_j)^2 \bar{a}''_{uu} + 2u'_j z'_j \bar{a}''_{uz} + (z'_j)^2 \bar{a}''_{zz} + B''_{jj} \right]. \quad (18)$$

Минимум ожидаемого риска (18) выражает «стоимость неопределенности» или ожидаемый экономический эффект ущерба от недополучения максимальной возможной прибыли при создании горнодобывающего предприятия, связанного с ограниченной точностью разведочных оценок основных геологических и экономических параметров месторождения. Степень точности оценок параметров отражена дисперсиями этих оценок σ_j^2 , а мера

влияния точности оценок отдельных параметров на величину экономического ущерба отражена выражением в квадратных скобках, которое зависит от особенностей месторождения (величины его основных параметров).

Расчеты показывают, что влияние погрешностей отдельных параметров на величину риска R неодинаково. Наибольший вес чаще всего имеют погрешности оценок среднего содержания m и коэффициента извлечения η , наименьший — объема капиталовложений K . Удельный вес погрешности оценки количества запасов руды x сильнее других зависит от масштабов месторождения.

Анализ ожидаемого риска R может оказаться полезным как при определении целесообразности проведения дополнительного этапа детальной разведки, так и при выборе рационального комплекса разведочных работ на этом этапе.

Поскольку нам известен удельный вес, с которым дисперсии оценок отдельных параметров месторождения σ_j^2 входят в величину риска R , и в нашем распоряжении имеется набор нескольких видов разведочных исследований (бурение, горные работы, технологические, горнотехнические, и геолого-экономические исследования), избирательно влияющих на точность оценок отдельных параметров, то имеются все основания для отыскания такого комплекса разведочных исследований на очередном этапе детальной разведки, который позволял бы достичь максимального сокращения ожидаемого риска при заданной продолжительности и себестоимости этапа.

ABSTRACT

The high level of expenditures both of time and of money essential for the geologo — exploration works made it impossible to obtain quite reliable information regarding quantity, quality, the mode of occurrence and technological characteristics of the prospected mineral deposits. That's why the decisions regarding the expediency of further exploration of such deposits are not quite precise. The acceptance of such decisions for the planning of geologo-exploration and mining works results in economical losses. The report treats the classical use of the statistical solution theory for the selection of the optimum (economically profitable) amount of geologo-exploration works on the mined deposits.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в теорию выработки решений. М., Воениздат, 1972, 344 с. Авт.: В. А. Абчук, Л. А. Емельянов, Ф. А. Матвейчук, В. Г. Суздаль.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций. М., «Сов. радио», 1972, 522 с.
3. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья. М., «Недра», 1974, 261 с.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ

Предлагается математическая модель рудного месторождения и метод количественного прогнозирования оруденения, построенный на статистической основе. Месторождение рассматривается как совокупность точек реального пространства. Все они охарактеризованы набором дискретных геологических признаков, а часть точек, сверх того, и результатами опробования. Задача состоит в том, чтобы, поставив в соответствие геологическим признакам результаты опробования, количественно оценить возможную рудоносность неохарактеризованных точек.

Точки реального пространства группируются в геологически однородные блоки [2]. Напомним, что каждый геологически однородный блок (ГОб) оконтуривается градациями вовлеченных в анализ геологических признаков (одного или нескольких), следовательно, точки из одного ГОБа имеют тождественные описания в признаковом пространстве, и описание любой из них является описанием самого ГОБа.

Предполагается, что каждый ГОб во всех его точках одинаково предрасположен к локализации оруденения, поскольку он характеризуется выдержанным геологическим строением.

С увеличением количества геологических признаков число ГОБов растет лавинообразно, поэтому на практике возникает необходимость сокращения признакового пространства и выделения совокупности наиболее информативных признаков для оконтуривания ГОБов. Градации признаков из этой совокупности разбивают реальное пространство на ГОБы нескольких классов, число которых также зависит от количества признаков и дробности их градаций. В каждый класс входят ГОБы, не различающиеся геологическим описанием.

Далее из каждого класса отбираются ГОБы, охарактеризованные опробованием. Рудоносность ГОБов оценивается с помощью среднеарифметического значения результатов опробования в точках, принадлежащих ГОБам своего класса.

Таким образом, каждому классу ГОБов ставится в соответствие найденный количественный показатель рудоносности, что является решением прогнозной задачи.

Ниже приводится строгое описание математической модели предложенного метода количественного прогнозирования.

Пусть $\{\eta_i\}$, $i = \overline{1, \infty}$ последовательность дискретных случайных величин (геологических признаков), возможно статистически зависимых, а $\{F_i\}$, $i = \overline{1, \infty}$ соответствующая последова-

тельность алгебр, относительно которых измеримы эти случайные величины. Пусть ξ — случайная величина (показатель рудоносности), измеримая относительно σ -алгебры B . Предположим, что $B=U$. Относительно определения и свойств алгебр и σ -алгебр отсылаем, например, к [1]. Здесь же заметим, что алгебры и σ -алгебры несут всю информацию о градациях признаков, причем σ -алгебры вводятся для признаков, принимающих непрерывный ряд значений, т. е. имеющих бесконечно много градаций.

Отметим, что если случайная величина θ измерима относительно σ -алгебры F , то с вероятностью 1 условное математическое ожидание $M(\theta/F)$ совпадает с θ . Следовательно, при нашем предположении

$$P(\xi = M(\xi / \bigcup_{i=1}^{\infty} F_i)) = 1. \quad (1)$$

На основании свойства (1) можно строить оценки для ξ с помощью условных математических ожиданий относительно алгебр, образованных конечными пересечениями F_i .

Выберем из бесконечной последовательности $\{\eta\}$, $i=1; \infty$ конечную предпоследовательность из k случайных величин (k — достаточно большое число, ≈ 100). Не ограничивая общности, можно считать, что это первые k членов последовательности. Нашей целью будет построение «экономичного алгоритма для выделения из последовательности $\{\eta\}$, $i=1, \infty$ минимального набора случайных величин, такого, что условное математическое ожидание относительно алгебры, порожденной этим набором, достаточно хорошо аппроксимирует оцениваемую случайную величину ξ .

О степени близости условного среднего к случайной величине можно судить по величине математического ожидания от условного среднеквадратического отклонения. Следовательно, информацию, которую несут на себе η_i относительно ξ , будем оценивать с помощью математического ожидания M от условной дисперсии D случайной величины ξ относительно F_i .

Утверждение. Среди F измеримых функций η условное математическое ожидание $M(\theta/F)$ минимизирует среднее условное среднеквадратическое отклонение $M(M(\theta - \eta)^2/F)$

Доказательство.

$$\begin{aligned} M(M(\theta - \eta)^2/F) &= M(M(\theta - M(\theta/F))^2/F) + \\ &+ 2M(M(\theta - M(\theta/F)) \times (M(\theta/F) - \eta)/F) + \\ &+ M(M(\eta - M(\theta/F))^2/F). \end{aligned} \quad (2)$$

Из свойств условных математических ожиданий (см. [1], с. 47, свойства ж, в) вытекает, что

$$\begin{aligned} & M(M(\theta - M(\theta/F))(M(\theta/F) - \eta)) = \\ & = M((M(\theta/F) - \eta)M(\theta - M(\theta/F))/F) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь мы сначала воспользовались F измеримостью функции $M(\theta/F) - \eta$, а далее тем, что $M(\theta - M(\theta/F)) = M\theta - MM(\theta/F) = 0$.

Из (2) с учетом (3) следует, что функция $M(M(\theta - \eta)^2 F)$ достигает минимума при $\eta = M(\theta/F)$, что и доказывает утверждение.

Из утверждения следует, что при выбранном нами критерии близости условное математическое ожидание является наилучшей оценкой для случайной величины ξ .

Назовем случайную величину η_{i1} наиболее информативной относительно ξ , если

$$MD(\xi/F_{i1}) = \min_{1 < i < k} MD(\xi/F_i),$$

где $D(\xi/F_{i1}UF_{i2}) = \min_{\substack{1 < i < k \\ i \neq i1}} MD(\xi/F_{i1}UF_i)$.

Заметим, что условная дисперсия $D(\xi/F)$ является случайной величиной, имеющей распределение, совпадающее с распределением случайной величины η , измеримой относительно алгебры F . Поэтому для определения $MD(\xi/F)$ надо знать распределение η . На практике, если сеть наблюдений нерегулярная, это распределение оценивается с помощью отношений площадей распространения градаций соответствующего случайной величине η признака ко всей площади распространения рассматриваемого признака.

Номер наиболее информативной случайной величины фиксируется, затем выделяется случайная величина η_{i2} , такая, что

$$MD(\xi/F_{i1}UF_{i2}) = \min_{\substack{1 < i < k \\ i \neq i1}} MD(\xi/F_{i1}UF_i).$$

Процедура продолжается до тех пор, пока из последовательности $\{\eta_i\}$, $i = \overline{1, k}$ не выделится подпоследовательность $\{\eta_j\}$, $j \in L(\varepsilon)$, такая, что

$$MD(\xi/UF_j) < \varepsilon D\xi,$$

где ε — достаточно малое число, а $L(\varepsilon) = \{i_1, i_2, \dots, i_l\}$.

Конкретное значение ε выбирается из условий задачи.

Отметим, что выбранный нами критерий остановки применим при любом $0 < \varepsilon < 1$. Действительно, если $F_0 \leq F$, то $M(\xi/F_0)$ — измеримая функция относительно F , и из утвержде-

ния следует, что $MD(\xi/F) \leq MD(\xi/F_0)$. Кроме того, из (1) имеем, что $MD(\xi/\bigcup_{i=1}^{\infty} UF_i) = 0$, поэтому

$$MD(\xi/UF_j) \downarrow 0 \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0$$

$j \in L(\varepsilon)$

и следовательно, $MD(\xi/UF_i)$

$i \in L(\varepsilon)$

превзойдет любой ε -уровень. Более того, меньшему ε -уровню будет соответствовать набор $L(\varepsilon)$ с большим числом индексов. Следовательно, выбранный критерий остановки корректен.

Набор случайных величин $\{\eta_i\}$, $j \in L(\varepsilon)$ назовем аппроксимирующей ε -совокупностью.

Приведенная процедура отыскания ε -совокупности резко сокращает число операций по сравнению с простым перебором, хотя получаемая ε -совокупность, возможно, отличается от оптимальной. Оптимальной называется такая ε -совокупность, для которой

$$MD(\xi/UF_j) = \min_{\substack{j \in S(\varepsilon) \\ 1 < j_1 < k \\ 1 < j_s < k}} MD(\xi/F_{j_1} UF_{j_2} U \dots UF_{j_s})$$

где $S(\varepsilon) = (v_1, v_2, \dots, v_s)$, а v_1, v_2, \dots, v_s — номера алгебр, на которых достигается минимум MD .

Так, для реализации приведенной процедуры требуется всего лишь $n_1 = \frac{l(2k-l+1)}{2}$ вычислений математических ожиданий от условных дисперсий, а при переборе, который дал бы оптимальную ε -совокупность, число этих вычислений $n_2 = \sum_{i=1}^l C_k^i$, $s \leq l$. Отсюда следует, что при большом числе признаков и их градаций выделение такой ε -совокупности перебором — задача, практически невыполнимая даже на самых больших ЭВМ, и преимущество предложенного алгоритма становится очевидным.

Авторы весьма признательны Ю. С. Шихину, знакомством с работами которого обязано появление этой статьи, являющейся развитием его подхода к решению задачи количественного прогнозирования рудоносности.

ABSTRACT

The statistical method of the informative collection out of the set of discrete geological indications is considered. Gradations of the informative indications divide the deposit into geologically homogeneous blocks (GHBs) of several classes. The points entering GHBs of the given class have got the identical descriptions in the indication's space.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гихман И. И., Скороход А. В. Теория случайных процессов. Т. 1. М., «Наука», 1971. 664 с.
2. Королев В. А., Шехтман П. А. Структурные условия размещения послемагматических руд. М., «Недра», 1965. 507 с.

УДК 550.8 : 519

Д. А. Родионов

ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В настоящее время имеется уже достаточно большой опыт применения математических методов при решении задач геологического прогнозирования. Особенно часто при этом используются эвристические методы распознавания образов или же методы дискриминантного анализа, т. е. приемы классификационного отнесения изучаемых объектов к одной из двух (или более) заранее заданных групп. Однако эти методы соответствуют только одной ситуации, когда в распоряжении исследователя имеется материал по рудоносным объектам и объектам, заведомо бесперспективным в отношении рудоносности. Такая ситуация охватывает далеко неполностью возможные случаи представления исходного геологического материала, по которому проводится прогнозирование. Кроме случая, когда априори заданы число групп, сами группы объектов и по каждой из них имеются результаты наблюдения, дающие основу для построения решающего правила, можно указать по крайней мере еще три ситуации.

Так, весьма часто нельзя выделить заранее группы объектов, по которым требуется построить решающее правило. Обычно исследователь располагает смесью заведомо перспективных объектов и объектов, перспективность которых неизвестна, точнее, уверенного утверждения о их бесперспективности высказать нельзя. В этом случае лучше всего попытаться разделить всю совокупность имеющихся объектов на однородные относительно изучаемых признаков группы и, естественно, те из них, в которых оказались заведомо рудоносные объекты следует рассматривать как перспективные.

К решению задачи прогнозирования в данной ситуации, когда имеется набор заведомо рудоносных объектов и совокупность объектов, перспективность которых неизвестна, можно подойти и несколько иначе. Процедура получения решения в этом случае заключается в том, что каждый из сомнительных объектов с помощью некоторого решающего правила сравнивается с совокупностью рудоносных образований. В результате

такого сравнения получается один из двух ответов: объект принадлежит к совокупности рудоносных объектов или объект не принадлежит к этой совокупности, геологический смысл которых очевиден.

В процессе проведения геологоразведочных работ может возникнуть ситуация, когда требуется предсказывать значения какого-либо признака, например, содержания полезного компонента, по результатам определения одного или более других показателей. Такую ситуацию также можно рассматривать как один из возможных случаев задачи прогнозирования, а для ее решения использовать методы регрессионного анализа.

Прежде чем перейти к формальной постановке всех перечисленных типов задач, введем следующие обозначения. Всю совокупность изучаемых геологических объектов мы будем рассматривать как дискретное множество S точек s , а свойство объектов, на основании которого определяется принадлежность объекта к рудоносным или безрудным, — как функцию $y(s)$, заданную на множестве S . Эта функция может быть аналогом, например, запасов или содержания полезного ископаемого.

Обозначив множество рудоносных объектов через A , мы сможем записать

$$A = \{s : y(s) \geq y_0\}, \quad (1)$$

где y_0 — заданное критическое значение функции y_s .

Аналогично, обозначив множество безрудных объектов через B , запишем

$$B = \{s : y(s) < y_0\}. \quad (2)$$

Естественно, что $A \subset S$, $B \subset S$ и $A \cap B = \emptyset$. Помимо функции $y(s)$ на множестве S мы определим m -мерную функцию

$$X_s = \{x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sm}\}, \quad (3)$$

которая будет служить моделью комплекса изучаемых на геологических объектах свойств, не определяющих принадлежность к множествам A или B , но позволяющих на их основе проводить классификационное отнесение объекта к множествам A или B . Таким образом, X_s можно рассматривать как комплекс диагностических свойств, на основании которых может решаться тем или иным способом задача прогнозирования. В качестве компонент x_{sj} вектора X_s могут служить, например, такие характеристики, как содержания элементов и минералов в породах, физические свойства пород и другие, даже качественные, признаки.

Кроме введенных обозначений нам необходимо еще определить некоторое произвольное подмножество в S , которое мы обозначим C . Естественно, что C может содержать элементы как из A , так и из B .

В практической деятельности геологам, как правило, приходится сталкиваться с ситуацией, когда исследуются не полные множества A и B , а только некоторые их подмножества, которые мы обозначим A' и B' соответственно. Иными словами, A' и B' представляют собой выборки из совокупностей A и B , на основании которых осуществляется прогнозирование.

Теперь перейдем к рассмотрению различных вариантов постановки задачи прогнозирования.

Вариант 1. Наиболее часто встречающийся в практике случай постановки задачи прогнозирования сводится к следующему.

Имеются две выборки A' и B' и некоторое множество C . На элементах $s \in C$, $s \in A'$ и $s \in B'$ определены значения

$$X_s = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{sj}, \dots, x_{sm}\}.$$

Требуется относительно каждого элемента $s \in C$ принять одно из утверждений: $s \in A$ или $s \in B$.

Решение этой задачи осуществляется с помощью некоторой функции $D(X; A', B')$, которая строится на основании значений X_s в выборках A' и B' . Не нарушая общности, можно представить решающее правило следующим образом:

$$\text{если } D(X; A', B') \leq D_0, \text{ то } s \in A, \quad (4)$$

$$\text{если } D(X; A', B') > D_0, \text{ то } s \in B, \quad (5)$$

где D_0 — некоторое пороговое значение. Функцию $D(X; A', B')$ можно построить различными способами. Наиболее распространены из них так называемый дискриминантный анализ и эвристические методы распознавания образов.

Вариант 2. Рассматриваемая ситуация также весьма типична. В распоряжении исследователя имеется выборка A' из множества A (рудоносных объектов) и выборка C , элементы которой s требуют решения о принадлежности к A или к B , т. е. к множествам рудоносных или безрудных образований по результатам определения для каждого элемента $s \in C$ значений вектора X_s . Решение задачи прогнозирования в данной ситуации возможно двумя способами:

а) рассмотрим множество $C' = A' \cup C$, представляющее собой объединение A' и C . Пусть $V(r; C')$ — некоторая функция, заданная на множестве R разбиений r множества C' на две части, которая является критерием для проверки гипотезы об однородности. Пусть также с помощью $V(r; C')$ множество C' разделено на h однородных подмножеств C'_k . Тогда искомым множеством, т. е. совокупностью перспективных объектов, будет такое множество A'' , для которого имеет место соотношение:

$$A'' = \{C'_k : C'_k \cap A' \neq \emptyset\}. \quad (6)$$

Иными словами, множество перспективных объектов A' будет состоять из всех множеств C_k' , которые содержат хотя бы один элемент $s \in A'$.

При выборе функции $V(r; C')$ можно воспользоваться как статистическими методами, так и эвристическими;

б) второй способ решения задачи прогнозирования в данной ситуации базируется на проверке предположения $s \in A$ для всех $s \in C$ с помощью некоторого критерия $R(s; A')$, один из вариантов которого описан в работе Уилкса [2] и впервые был применен для прогнозирования в геологии Мотуза-Матузавичусом [1]. Искомое множество A'' будет представлять собой пересечение множеств C и A , т. е.

$$A'' = C \cap A. \quad (7)$$

Вариант 3. В распоряжении исследователя имеется только выборка C из S , элементам которой s соответствуют $m+1$ -мерные векторы

$$\{Y_s, X_s\} = \{Y_s, x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sj}, \dots, x_{sm}\}.$$

В отличие от двух предыдущих ситуаций, кроме комплекса прогнозирующих свойств X_s для каждого s измеряется и прогнозируемое свойство y_s .

Требуется по результатам наблюдения

$$X_s = \{x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sj}, \dots, x_{sm}\}$$

на объектах s в новой выборке C' из S предсказать значения y_s . Решение этой задачи обычно сводится к отысканию некоторой приближенной функции $\hat{y}(X_s)$, с помощью которой можно предсказать значения y_s . Наиболее распространенным методом решения этой задачи является регрессионный анализ, причем в большинстве случаев применяется линейный вариант уравнения регрессии. Однако если число признаков m небольшое, то используются полиномы степени выше первой.

Таким образом, все существующие ситуации задач геологического прогнозирования можно свести к трем вариантам постановки задач и рекомендовать четыре возможных варианта подхода к их решению. Однако в связи с вопросом о формальной постановке задач прогнозирования необходимо остановиться и на возможных ошибках в решении этих задач. Дело в том что при применении некоторого решающего правила не исключено появление ошибочных заключений, что в свою очередь может существенно повлиять на ход всего процесса геолого-разведочных работ.

Кроме того, геологическое прогнозирование на одной и той же территории обычно повторяется на разных стадиях деятельности исследования, что требует рассмотрения последовательности принятых решений, каждый из элементов которой может оказаться ошибочным. Естественно, что наличие в по-

следовательности решений хотя бы одного ошибочного элемента сводит на-нет результаты всего процесса геологоразведочных работ.

В связи с этим разработка принципов подхода к изучению вероятностей появления ошибок при решении задач геологического прогнозирования является наиболее важным разделом всей проблемы применения математических методов при поиске месторождений полезных ископаемых.

Как и раньше, обозначим через A множество геологических объектов, заведомо связанных с месторождениями данного полезного ископаемого. Через B мы будем обозначать множество геологических объектов, которые являются бесперспективными, а через C — множество геологических объектов, принадлежащих как к A , так и к B , т. е. подлежащих распознаванию. Элементы множеств B и C будем обозначать через b и c соответственно.

По результатам m -мерных наблюдений $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ над объектами a и b из A и B строится некоторое решающее правило $D(X)$, которому соответствует пороговое значение D_0 .

Не нарушая общности, можно записать решающее правило классификационного отнесения объектов $c \in C$:

$$c \in A, \text{ если } D(X) \leq D_0, \quad (8)$$

$$c \in B, \text{ если } D(X) > D_0. \quad (9)$$

При этом возможно появление следующих двух типов ошибок:

1. $(c \in A/c \in B)$ — принято решение $c \in A$, тогда как в действительности $c \in B$.

2. $(c \in B/c \in A)$ — принято решение $c \in B$, тогда как на самом деле $c \in A$.

Каждое из перечисленных событий можно охарактеризовать соответствующей вероятностью, и как характеристику качества решающего правила можно использовать некоторую функцию от этих вероятностей, например

$$P = P(c \in A/c \in B) + P(c \in B/c \in A). \quad (10)$$

Естественно, что при выборе решающего правила желательно сделать эту функцию по возможности минимальной. Однако это относится уже к другой задаче, которая нами не рассматривается, а в данном случае будем считать, что решающее правило однозначно выбрано со всеми вытекающими отсюда последствиями. Необходимо также отметить, что кроме двух перечисленных ошибочных вариантов решений существует еще два возможных правильных решения:

1. $(c \in A/c \in A)$ — принято верное решение $c \in A$.

2. $(c \in B/c \in B)$ — принято верное решение $c \in B$.

Обозначим множество правильных решений через Δ_1 , а множество ошибочных через Δ_2 . Тогда

$$P[(c \in A/c \in A) + (c \in B/c \in B)] = P(d \in \Delta_1) \quad (11)$$

и

$$\begin{aligned} P[(c \in A/c \in B) + (c \in B/c \in A)] &= P(d \in \Delta_2) = \\ &= 1 - P(d \in \Delta_1), \end{aligned} \quad (12)$$

где d — решение, полученное с помощью данного решающего правила.

Оценить вероятности $P(d \in \Delta_1)$ и $P(d \in \Delta_2)$ можно или с помощью оценок параметров соответствующих распределений, вычисленных по значениям X , или же путем непосредственного эксперимента, который иногда называют экзаменом. Таким образом, отдельный этап прогнозирования можно охарактеризовать с помощью вероятностей появления ошибочных и правильных решений.

Необходимо отметить, что в большинстве геологических исследований, проводимых на одной и той же территории, процедура прогнозирования неоднократно повторяется, чем достигается последовательное сокращение выбранной перспективной площади. Таким образом, весь процесс прогнозирования можно представить в виде последовательности Δ принимаемых решений d_k , т. е.

$$\Delta = \{d_1, d_2, \dots, d_k, \dots, d_n\}, \quad (13)$$

где n — число этапов прогнозирования. Как уже отмечалось выше, каждому из решений d_k этой последовательности можно поставить в соответствие вероятности $P(d_k \in \Delta_1)$ и $P(d_k \in \Delta_2)$. Естественно, что всю последовательность Δ принимаемых решений d_k следует считать ошибочной, если хотя бы один ее элемент $d_k \in \Delta_2$ является ошибочным. Наоборот, последовательность Δ будет безошибочной, если все ее элементы d_k принадлежат Δ_1 . Следовательно, если все d_k независимы, то

$$P(d_k \in \Delta_1 \text{ для всех } k = 1, 2, \dots, n) = \prod_{k=1}^n P(d_k \in \Delta_1), \quad (14)$$

а также

$$\begin{aligned} P(d_k \in \Delta_2, \text{ хотя бы для одного } k = 1, 2, \dots, n) &= \\ &= 1 - \prod_{k=1}^n P(d_k \in \Delta_1). \end{aligned} \quad (15)$$

В связи с тем что произведение

$$\prod_{k=1}^n P(d_k \in \Delta_1)$$

Нетрудно видеть, что вероятность, определенная выражением (19), увеличивается с ростом s , что доказывает принципиальную возможность получения решений в геологическом прогнозировании с любой заданной надежностью.

Реализация схемы повторения последовательностей, принимаемых при геологическом прогнозировании решений, возможна разными способами. Например, использование различных вариантов разбиения изучаемой территории на участки, среди которых выделяются перспективные и бесперспективные.

ABSTRACT

The most of prognosis geological situations may be classified into three types of problems: 1) the discriminant analysis, 2) the dividing of mixture population into homogeneous groups, 3) the regression analysis. Also, the probabilities of errors, which may appear in the sequence of decisions, are considered.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мотуза-Матузявичус Г. Б. К методике изучения закономерностей размещения геологических объектов на площади.— В кн.: Методы и результаты математико-статистических исследований в геологоразведочном деле. М., ВИЭМС—ВИМС, 1972, с. 47—53.
2. Уилкс С. Математическая статистика. М., «Наука», 1967, 632 с.

УДК 550.8 : 519

А. Б. Вистелиус, М. Е. Демина, Б. П. Харламов

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИИ ПО ТЕРРИГЕННЫМ КОМПОНЕНТАМ КАК ЗАДАЧА О СТРУКТУРЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ

Основной задачей поисковой геохимии и палеогеографии по терригенным компонентам является решение следующей проблемы. На плоскости имеется источник A с координатами (c, d) . Из этого источника поступает некоторое вещество, концентрация которого в точке с координатами (x_1, x_2) в определенный момент времени есть случайная функция от этих координат $z(x_1, x_2)$ (двумерное случайное поле).

Над этой случайной функцией производятся наблюдения. Пусть $\{z_i, i=1, 2, \dots, N\}$ — набор наблюдаемых значений над z по некоторой дискретной сетке. Требуется по этим наблюдаемым значениям установить координаты (c, d) источника вещества.

В случае поисковой геохимии $z(x_1, x_2)$ есть концентрация металла, месторождением которого является источник A . В случае палеогеографии по терригенным компонентам $z(x_1, x_2)$ есть содержание того или иного минерала в тяжелой фракции обломочной породы. В этом случае A есть область размыва (питания обломочным минералом).

Для упрощения мы сформулировали задачу для плоских координат (x_1, x_2) и одномерной величины $z(x_1, x_2)$. На практике часто приходится решать задачу для трехмерной системы координат (x_1, x_2, x_3) и для векторных значений случайного поля z . Однако здесь мы не будем останавливаться на этом случае.

Настоящая работа ставит целью общую постановку вопроса, исходя из которой можно было бы построить теорию миграции вещества из источника, допускающую решение для конкретных частных случаев. Кроме того, мы попытаемся выяснить, могут ли появляться у функции $Ez(x_1, x_2)$, где E — оператор математического ожидания, максимумы, не совпадающие по своим координатам с источником A . Последнее в терминах поисковой геохимии означает — могут ли возникать в силу чисто случайных причин аномалии, не указывающие на то, что под ними располагается рудное тело. В палеогеографии это означает — могут

ли возникать в силу чисто случайных причин на исследуемой территории районы с повышенным содержанием изучаемого тяжелого минерала, не указывающие на близость источника питания обломочным минералом. При этом в случае задачи с терригенными компонентами анализ будет отнесен к слою песчаного состава, из пробы которого выделяется тяжелая фракция. Этот слой формируется в области осадконакопления в течение некоторого интервала времени (t' , t''), после чего он оказывается погребенным и больше не участвует в накоплении данного вещества.

Элементы теории миграции

Основными элементами теории миграции являются механизм накопления вещества, его рассеяние и возникновение локальных концентраций.

Накопление вещества. Предполагается, что из некоторого источника в случайные моменты времени $\dots t_1', t_2', t_3' \dots$ поступают частицы вещества. Последовательность этих моментов времени охватывает отрезок времени, когда образуется слой активного формирования накапливаемого материала. Каждая частица, принадлежащая слою активно формирующегося накапливаемого материала, обладает «возрастом» t_i ($i=1, 2, \dots$) — величиной отрезка времени от момента поступления из источника до момента окончания формирования слоя. Кроме того, каждая частица обладает массой z_i и занимает точку в пространстве x_i (одномерную, двумерную и т. д.). Таким образом, имеется последовательность троек $\{(t_i, z_i, x_i)\}_{1^\infty}$, которую мы предполагаем случайной — случайный точечный процесс

$$0 \leq t_1 < t_2 < \dots; t_i, z_i \in (0, \infty); x_i \in X.$$

Масса вещества, принадлежащая области $S \subset X$, равна

$$\mathfrak{M}(S) = \sum_{i=1}^{\infty} z_i I(S/x_i),$$

где

$$I(S/x) = \begin{cases} 1, & x \in S \\ 0, & x \notin S \end{cases}$$

$\{\mathfrak{M}(S), S \subset X\}$ — это семейство случайных величин, определяющих случайную меру \mathfrak{M} .

Зная вероятностные характеристики случайной последовательности $\{(t_i, z_i, x_i)\}_{1^\infty}$, мы можем вычислить все интересующие нас характеристики случайной меры \mathfrak{M} .

В первую очередь нас будет интересовать «мера тренда», т. е. математическое ожидание меры

$$M(S) = E\mathfrak{M}(S).$$

(Если существует плотность $M(x)$ этой меры по обычной мере прямой, плоскости или пространства, то эта плотность называется «поверхностью тренда»).

Пусть

$$\mu(B) = \sum_{i=1}^{\infty} z_i I(B/(t_i, z_i)),$$

где $B \subset [0, \infty) \times [0, \infty)$. Это случайная мера, полностью характеризующая источник вещества. Пусть $g(B) = E\mu(B)$ и $P(S/t, z)$ есть условная вероятность частице вещества, имеющей возраст t и массу z , принадлежать области $S \subset X$.

Тогда

$$M(S) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} P(S/t, z) g(dt, dz).$$

Следовательно, мера $M(S)$ полностью определяется индивидуальным законом распределения каждой частицы $P(S/t, z)$ и мерой $g(dt, dz)$ интенсивности (по t и z) источника.

Преыдушая формула не содержит каких-либо ограничений типа независимости на последовательность $\{(t_i; z_i, x_i)\}_{i=1}^{\infty}$. Однако с целью получения вычисляемых формул мы сделаем дальнейшие предположения.

Допустим, что $P(S/t, z) = P(S/t)$ — фактически не зависит от z . Тогда

$$M(S) = \int_0^{\infty} P(S/t) m(dt),$$

где $m(dt) = g[dt \times (0, \infty)]$

есть мера интенсивности (по времени) источника. Пусть далее

$$m(dt) = m(t) dt,$$

где $m(t)$ есть интенсивность источника (по времени). Мы будем всегда предполагать (когда X одномерно или двумерно), что

$$m(0, \infty) = \int_0^{\infty} m(t) dt < \infty.$$

При этом

$$M(X) = \int_0^{\infty} P(X/t) m(dt) = \int_0^{\infty} m(t) dt < \infty,$$

т. е. вся масса частиц вещества, рассеянного по пространству, конечна. В дальнейшем мы будем придавать функции $m(t)$ раз-

личные конкретные значения, облегчающие получение формул, допускающих простой качественный анализ.

Диффузионное рассеяние. Для конкретизации функции $P(S/t)$ мы предположим, что каждая частица вещества после выделения из источника совершает случайное движение в пространстве по закону однородного во времени диффузионного процесса. В этом случае существует плотность $p(x/t)$:

$$P(S, t) = \int_X p(x/t) dx.$$

Эта плотность (при одномерном X) удовлетворяет прямому уравнению Колмогорова [3]:

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{d}{dx} a(x)p + \frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} b(x)p.$$

Параметры $a(x)$ и $b(x)$ характеризуют снос и рассеяние вероятностного распределения относительно начальной точки. В двумерном случае соответствующее дифференциальное уравнение определяется векторным полем $\vec{a}(x)$ (снос) и матричным полем $\|b(x)\|$ (рассеяние). Точное решение уравнения Колмогорова удастся получить только в исключительных случаях.

Пример 1. X — плоскость, $\vec{a}(x) = 0$, $\|b(x)\|$ — единичная матрица (не зависит от x). При этом $x = (x_1, x_2)$ и решение уравнения Колмогорова имеет вид:

$$p(x_1, x_2/t) = \frac{1}{2\pi t} \exp\left(-\frac{x_1^2 + x_2^2}{2t}\right).$$

Тогда

$$M(x_1, x_2) = \int_0^{\infty} m(t) \frac{1}{2\pi t} \exp\left(-\frac{x_1^2 + x_2^2}{2t}\right) dt.$$

Простое значение $M(x_1, x_2)$ в этом случае получается при

$$m(t) = \sqrt{t} e^{-\lambda t} [2].$$

Вид этой кривой показан на рис. 1. Качественно такая форма кривой интенсивности источника представляется не лишенной смысла, так как накопление песчаного слоя начинается с появления малого числа интересующих нас частиц и мы можем рассматривать его формирование до завершения процесса накопления. Однако конкретная форма кривой $m(t)$ выбрана нами лишь для математического удобства.

При этом

$$M(x_1, x_2) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\lambda}} \exp\left(-\sqrt{2\lambda(x_1^2 + x_2^2)}\right).$$

Сечение этой поверхности по линии $x_2=0$ дает

$$M(x_1, 0) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\lambda}} \exp(-\sqrt{2\lambda}|x_1|)$$

и имеет форму, качественно показанную на рис. 2. Линии уровня этой поверхности — окружности. При отсутствии каких-либо дополнительных данных об источнике, поверхность тренда которого требуется оценить, можно рекомендовать искать эту поверхность среди семейства поверхностей предыдущего вида

$$M(x_1, x_2; a, b, c, d) = a \exp(-b\sqrt{(x_1-c)^2 + (x_2-d)^2}),$$

где a, b, c, d — параметры, которые оцениваются по наблюдениям.

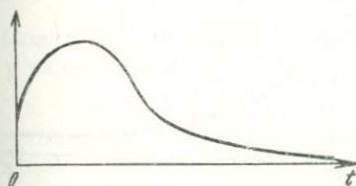


Рис. 1. Изменение интенсивности источника по закону $m_1(t) = \sqrt{t}e^{-\lambda t}$. Точка 0 соответствует моменту завершения формирования слоя. Ось времени t направлена в прошлое

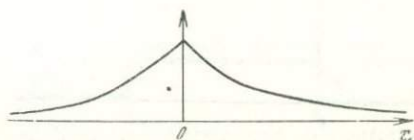


Рис. 2. Сечение поверхности тренда $M(x_1, x_2)$ плоскостью $x_2=0$ в случае двумерной диффузии с единичной матрицей рассеяния и нулевым сносом

Максимумы на поверхности тренда, не совпадающие с координатами источника. В предыдущем примере точка максимума поверхности тренда совпадала с местом источника вещества. Существует, однако, возможность образования максимумов и в других частях тренда. Они образуются в точках разрыва параметров диффузии $a(x)$ и $b(x)$. Следующий пример демонстрирует эту возможность.

Пример 2. Рассматривается одномерная диффузия. Пусть

$$a(x) = \begin{cases} h, & x \in [0, r] \\ 0, & x \in [0, r] \end{cases}$$

(рис. 3), $b(x) = 1$ при всех x .

При этом решение диффузионного уравнения

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{d}{dx} a(x)p + \frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} p$$

имеет достаточно сложный вид. Однако если интенсивность источника имеет вид

$$m(t) = ge^{-\lambda t}$$

(рис. 4), то кривую тренда $M(x)$ можно найти, не решая предыдущего уравнения. Так как

$$M(x) = g \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} p(x, t) dt$$

и

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{dp}{dt} dt = -p(x/0) + \frac{\lambda}{g} M(x),$$

то $M(x)$ удовлетворяет уравнению

$$\lambda M(x) - gp(x/0) = -\frac{d}{dx} a(x) M(x) + \frac{1}{2} \frac{d}{dx^2} M(x).$$

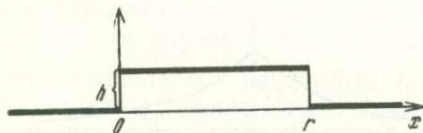


Рис. 3. Характер изменения сноса в примере с образованием ложного максимума на поверхности тренда

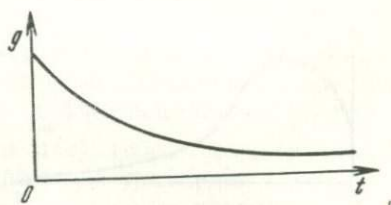


Рис. 4. Изменение интенсивности источника по закону $m_2(t) = g e^{-\lambda t}$

При этом $p(x/0) = \delta_0(x)$ есть обобщенная функция: $\delta_0(x) = 0$ при $x \neq 0$ и $\int_{-\infty}^{\infty} \delta_0(x) dx = 1$.

Решение этого уравнения имеет вид:

$$M(x) = \begin{cases} Ae^{ax}, & x < 0 \\ Be^{-bx} + Ce^{c(x-r)}, & 0 \leq x \leq r \\ De^{-xd}, & x > r. \end{cases}$$

В предположении непрерывности $M(x)$ параметры имеют следующий вид:

$$a = d = \sqrt{2\lambda}, \quad b = \sqrt{h^2 + 2\lambda} - h, \quad c = \sqrt{h^2 + 2\lambda} + h,$$

$$A = \frac{g}{2\Delta} ((\sqrt{h^2 + 2\lambda} - h + \sqrt{2\lambda}) + (\sqrt{h^2 + 2\lambda} + h - \sqrt{2\lambda}) e^{-2r\sqrt{h^2 + 2\lambda}}),$$

$$B = \frac{g}{2\Delta} (\sqrt{h^2 + 2\lambda} - h + \sqrt{2\lambda}),$$

$$C = \frac{g}{2\Delta} (\sqrt{h^2 + 2\lambda} + h - \sqrt{2\lambda}) e^{-r(\sqrt{h^2 + 2\lambda} - h)},$$

$$D = \frac{g}{2\lambda} 2\sqrt{h^2 + 2\lambda} e^{-r(\sqrt{h^2 + 2\lambda} - h)},$$

$$\Delta = \left(\lambda + \frac{1}{2} \sqrt{2\lambda(h^2 + 2\lambda)} \right) - \left(\lambda - \frac{1}{2} \sqrt{2\lambda(h^2 + 2\lambda)} \right) e^{-2r\sqrt{h^2 + 2\lambda}}.$$

Вид функции $M(x)$ зависит от соотношения h и λ (g — масштабный параметр). Так при $\frac{\lambda}{2} < h^2 < h_1$, где h_1 — некоторое число, функция $M(x)$ имеет два локальных максимума в точках 0 и r , как показано на рис. 5. При еще больших значениях h при одном и том же λ максимум в точке r может быть больше максимума в точке 0, т. е. в месте источника.



Рис. 5. Образование ложного максимума на поверхности тренда в точке разрыва функции сноса

Поведение случайного поля z у типичного геологического объекта

Соответствие предложенной модели типичному случаю

хотя бы в качественном плане требовало достаточно обширных исследований на специально выбранном полигоне. Этот полигон и изучаемая характеристика должны быть удовлетворять следующие условия, которые были определены нами для характерной задачи по терригенным компонентам:

а) положение источника (т. е. координаты (c, d)) должно быть известно; источник должен быть единственным и по возможности минимальным по площади;

б) значения $z(x_1, x_2)$ должны падать к периферии полигона и постепенно переходить к фоновым значениям материала;

в) область разноса материала должна быть достаточно велика для того, чтобы можно было высказывать региональные суждения;

г) отложения, содержащие материал, должны быть хорошо изучены, стратифицированы и достаточно обнажены (или разбурены) для того, чтобы иметь возможность брать пробы по более или менее равномерной сетке;

д) изучаемые осадки должны относиться к одному седиментационному циклу. При этом желательно, чтобы область питания обломочным материалом была одна и та же как для изучаемых отложений, так и для подстилающих и покрывающих отложений. Тогда небольшие ошибки в стратиграфической привязке проб, что неизбежно при работе на большой территории, не смогут сказаться на окончательных выводах;

е) тяжелый минерал, носитель изучаемого вещества, поступающий из источника A , должен по составу отличаться от носителя, дающего фоновые значения этого вещества.

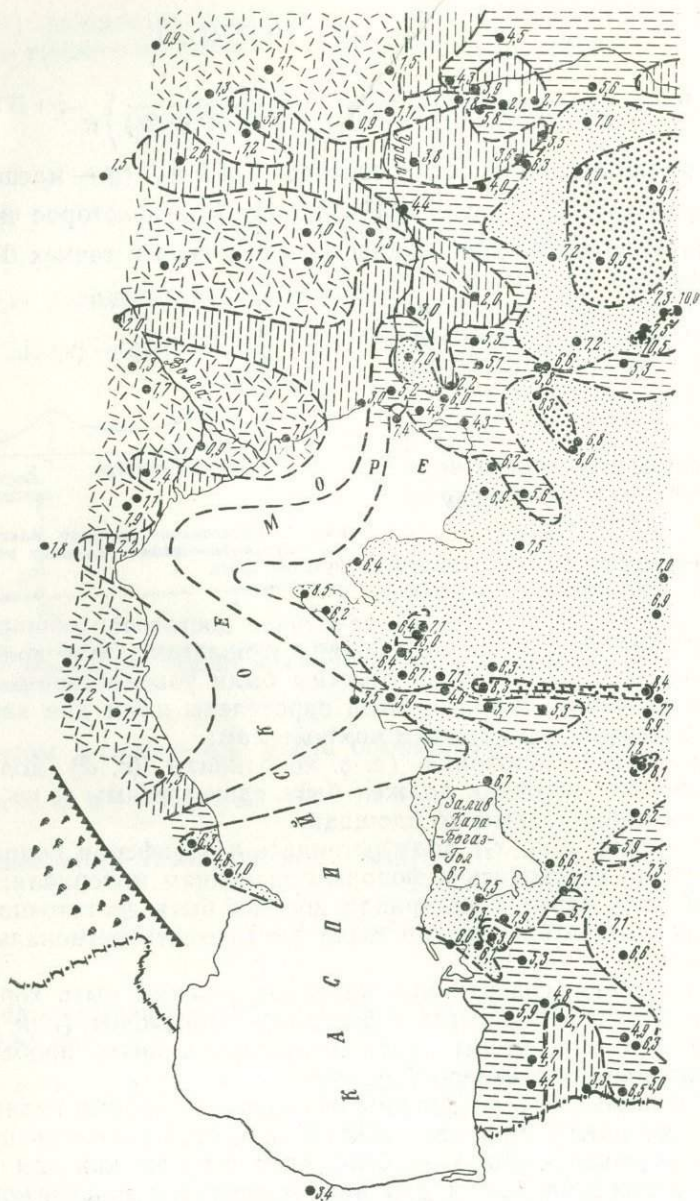


Рис. 6. Поле концентраций MnO в гранатах из песчаных отложений апт-сенманского возраста в районах Прикаспия и Приаралья. 1—5 поля содержания MnO в гранате (1—от 0 до 2%; 2—от 2,0 до 4,0%; 3—от 4,0 до 6,0%; 4—от 6,0 до 8,0%, 5—более 8,0%); 6—граница терригенно-минералогических провинций, не содержащих граната в тяжелой фракции; 7—места опробования с указанием содержания MnO в гранате; 8—коренные выходы гранатосодержащих пород

В качестве опытного полигона нами была выбрана территория юго-востока СССР от Волги и восточного Кавказа до Тянь-Шаня и западных отрогов Памира, а также прилегающие части Ирана и Афганистана. Исследуемыми отложениями являлись песчаные образования, принадлежащие по возрасту к интервалу времени от апта до сеномана включительно.

Изучаемой характеристикой являлось содержание в граните MnO (в %). Содержание MnO в гранитах источника, почти чистых спессартинах, было порядка 20%, содержание MnO в гранатах фона (на северо-западе в основном альмандина) около 1%.

Источником спессартина предполагались содержащие его вкрапления граниты палеозойского возраста близ селения Лянгар в горах Актау в Юго-Восточных Кызылкумах, где они образовывали хорошо изученную интрузию. Эта интрузия, как и остальные останцевые горы Кызылкумов, интенсивно размывалась в меловое время.

Чрезвычайная редкость существования крупного источника спессартина и поведение его концентраций в изученных песчаных отложениях делали оправданным предположение о том, что актауские граниты были единственным источником питания спессартином апт-сеноманского юго-востока СССР.

Методика работы по извлечению материала из проб и определению в нем концентрации марганца изложена в нашем предварительном сообщении [1].

На рис. 6 приведена карта, на которой показано, как меняются концентрации MnO в гранитах в зависимости от места отбора пробы на территории исследуемого апт-сеноманского бассейна.

Выводы

Анализируя предложенную теорию миграции вещества и сравнивая результаты этого анализа с тем, что мы наблюдали в пределах опытного полигона, можно сделать некоторые выводы и предложить конкретную программу исследований для решения основной задачи поисковой геохимии и палеогеографии по терригенным компонентам.

1. Наблюдаемые на практике максимумы в концентрации исследуемой характеристики (аномалии) могут вызываться стохастическим механизмом явления и не могут служить без дополнительной аргументации свидетельством залегания под аномалией какого-либо месторождения. В принципе такие случайные максимумы могут быть даже более резко выражены, чем максимумы, располагающиеся над месторождением. Этот вывод

распространяется полностью на терригенные отложения и определение области питания.

2. Для начала работы рационально взять простую диффузионную модель, рассмотренную нами. В дальнейшем при анализе конкретных задач, по-видимому, придется проводить специальные исследования непротиворечивости модели и опытных данных.

3. В рамках диффузионной модели необходимы специальные исследования по определению по опытным данным значений $\vec{a}(x)$, $\|b(x)\|$ и $m(t)$. Без этого определить положение источника по наблюдениям в области разноса материала вряд ли возможно. Эта работа потребует значительных усилий.

4. Необходимо проведение специальных работ на полигоне для накопления материала для проверки модели разноса металла из месторождения. Такой полигон должен быть специально выбран. При этом выбор его должен быть произведен в соответствии с рядом требований, как это было сделано нами при выборе полигона при палеогеографическом эксперименте.

ABSTRACT

Problems of paleogeography and geochemical prospecting have many common features, if to look at them from mathematical point of view. Here we consider the model of the arrangement of mineral particles (or chemical components). It is supposed that particles start their migration from the point source and are fixed in the medium around this source. The source emits particles by some unhomogeneous, random, point process. After emission particles migrate in the space as particles of diffusion Markov process. Expressions for expectation of random measure of accumulated material are given. Appearance of maxima of accumulation of particles within the field of their migration is shown.

Theory is illustrated by the investigation of concentration of spessartines in heavy fractions of apt — senonian sands (about 300 outcrops and bore holes) in South — eastern part of the USSR and adjacent regions of Afghanistan and Iran.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вистелиус А. Б., Демина М. Е. О разносе обломочного материала в апт-сенонанском бассейне юго-востока СССР. — «Докл. АН СССР», т. 150, 1963, № 6, с. 1319—1322.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений. М., Физматгиз, 1962. 1000 с.
3. Розанов Ю. А. Случайные процессы. М., «Наука», 1971. 286 с.

Р. И. Коган, Ю. П. Белов, Н. В. Тимофеева

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ КЛАССИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ УСЛОВИИ СЛУЧАЙНОСТИ ВСЕХ ПЕРЕМЕННЫХ

В прогнозных геологических задачах широкое применение нашли методы корреляционного и регрессионного анализа, позволяющие количественно определить тесноту связи между геологическими признаками, подобрать для этих признаков оптимальную форму зависимости, оценить параметры фиксированной зависимости. При этом получается многочлен вида $y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_mx_m$, в левой части которого находится прогнозируемый геологический признак y , а в правой — прогнозирующие геологические признаки x_1, x_2, \dots, x_m . Однако математический аппарат регрессионного анализа хорошо разработан лишь для случая, когда признаки x_1, x_2, \dots, x_m детерминированы.

В то же время в геологии исходные данные, как правило, заданы с ошибками. Нахождение уравнения регрессии в этих условиях требует дополнительных предположений относительно условий решаемой задачи. Например, достаточно знать дисперсии геологических признаков или отношения этих дисперсий. Однако подобные априорные сведения обычно также отсутствуют. Конечно, можно попытаться сначала оценить нужные параметры, а затем применить какой-либо известный метод нахождения коэффициентов регрессии [3, 4, 5], однако такой подход приводит к успеху лишь в случае повторных данных. Учитывая сложность определения коэффициентов регрессии, обратимся к обсуждению вопроса их устойчивости.

Методом наименьших квадратов решаем классическую задачу линейной регрессии, т. е. оцениваем коэффициенты a и b уравнения $y = a + bx + \eta$, где $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$ и общую дисперсию σ^2 . Под η понимаются независимые нормально распределенные случайные величины с нулевыми математическими ожиданиями, конечными и равными дисперсиями σ^2 и нулевыми ковариациями.

Запишем выражение для оценки коэффициента наклона [3]:

$$b_1 = \hat{b} = \frac{\sum_{xy}}{\sum_{xx}}, \quad (1)$$

где

$$\sum_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad \sum_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

Напомним, что классический случай предполагает неслучайность переменной x .

Теперь рассмотрим случай, когда известна дисперсия прогнозируемого признака δ_y^2 . Тогда как известно [4]:

$$b_2 = \hat{b} = \frac{\Sigma_{yy} - n\delta_y^2}{\Sigma_{xy}}, \quad \text{где } \Sigma_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2. \quad (2)$$

Рассмотрим разность двух приведенных оценок (1) и (2) коэффициента наклона регрессии и разделим значение разности на оценку (1)

$$\Delta_1 = \left| \frac{b_2 - b_1}{b_1} \right| = \left| \frac{\Sigma_{yy} \Sigma_{xx}}{\Sigma_{xy}^2} \left(1 - \frac{n}{\Sigma_{yy}} \delta_y^2 \right) - 1 \right|. \quad (3)$$

Величина Δ_1 будет показывать, насколько оценка (2) при известной дисперсии δ_y^2 будет отличаться от оценки (1) в смысле отношения к ней, т. е. какова относительная погрешность оценки (1), полученной без учета случайности признака x .

Рассматривая Δ_1 как функцию от δ_y^2 , т. е. $\Delta_1 = \Delta_1(\delta_y^2)$, можно выделить область изменения δ_y^2 , в которой Δ_1 будет принимать значение меньше заданного положительного числа ε . Другими словами, охарактеризуем область, когда применимо уравнение регрессии, полученное без учета случайности признака x , хотя такая случайность на самом деле имеет место. Эту область будем называть областью устойчивости уравнения регрессии с доверительной вероятностью $1 - \varepsilon$.

Рассмотрим теперь случай, когда известна дисперсия прогнозирующего признака δ_x^2 . Тогда, как известно [4],

$$b_3 = \hat{b} = \frac{\Sigma_{xy}}{\Sigma_{xx} - n\delta_x^2}. \quad (4)$$

Запишем аналогично Δ_1 выражение для Δ_2

$$\Delta_2 = \left| \frac{b_3 - b_1}{b_1} \right| = \left| \frac{\Sigma_{xx}}{\Sigma_{xx} - n\delta_x^2} - 1 \right|. \quad (5)$$

Величина Δ_2 , как и Δ_1 , означает относительную погрешность оценки (1), полученной без учета случайности признака x , но при других априорных сведениях, а именно, при условии, что известна дисперсия δ_x^2 . Можно найти также область устойчивости уравнения регрессии с доверительной вероятностью $1 - \varepsilon$ для этого случая, т. е. такую область изменения δ_x^2 , в которой Δ_2 будет принимать значение, меньшее заданного положительного числа ε .

Проиллюстрируем сказанное на небольшом геологическом примере. Исходные данные по содержанию серебра (y) и вис-

**Исходные данные о содержаниях серебра и висмута
в минерализованных и осадочных породах гидротермального
месторождения Восточного Кармазара (Средняя Азия)**

№	Содержание Ag и Bi		№	Содержание Ag и Bi	
	Ag (г/т)	Bi (% 100 г сухого вещества)		Ag (г/т)	Bi (% 100 г сухого вещества)
1	54,8	0,06	37	99,4	0,113
2	312,2	0,132	38	103,4	0,250
3	252,4	0,110	39	2814,0	0,51
4	153,6	0,070	40	1478,1	0,570
5	136,4	0,073	41	122,0	0,050
6	350,8	0,190	42	108,0	0,047
7	967,6	0,493	43	52,0	0,168
8	217,8	0,096	44	43,6	0,05
9	46,4	0,014	45	37,4	0,05
10	6,8	0,001	46	26,0	1,123
11	229,0	0,130	47	18,6	1,27
12	214,0	0,118	48	11,8	0,04
13	212,4	0,150	49	213,6	0,043
14	121,4	0,052	50	98,0	0,04
15	62,6	0,025	51	25,8	0,004
16	80,8	0,029	52	8,4	0,001
17	144,6	0,052	53	7,0	0,002
18	118,2	0,025	54	9,0	0,002
19	27,0	0,013	55	5,2	0,001
20	6,2	0,003	56	5,8	0,09
21	6,0	0,004	57	6,3	0,03
22	12,8	0,003	58	7,3	0,001
23	164,4	0,834	59	10,6	0,001
24	248,4	0,037	60	12,6	0,001
25	200,0	0,237	61	3,2	0,001
26	78,0	0,05	62	20,0	0,001
27	77,2	0,04	63	17,6	0,001
28	115,8	0,066	64	6,2	0,001
29	119,4	0,055	65	216,4	0,10
30	163,4	0,113	66	202,3	0,10
31	251,6	0,250	67	155,0	0,075
32	240,0	0,51	68	68,2	0,051
33	307,4	0,570	69	50,0	0,052
34	203,0	0,050	70	73,0	0,076
35	238,8	0,047	71	12,2	0,005
36	357,4	0,055	72	21,2	0,012

мута (x) в 72 пробах (таблица) характеризуют эффузивы и осадочные породы нижнего горизонта одного из гидротермальных месторождений Восточного Кармазара (Средняя Азия). Месторождение расположено в северной части крупного рудного поля, в строении которого участвуют палеозойские, мезозойские и кайнозойские отложения. Обширная часть площади рудного поля сложена эффузивно-осадочной толщей верхнего палеозоя — нижнего триаса. Породы залегают моноклинально. Основную

роль в тектонике района и в размещении оруденения играют разрывные структуры.

Рудные тела связаны с зоной Главного разлома, с оперяющими его трещинами, а также со сближенными с ним параллельными разломами. Промышленные скопления руд формировались в эффузивных породах (туфолавах, фельзит-порфирах, сферолит-порфирах и туфах) в результате гидротермальных процессов, имевших место после внедрения молодых магматогенных образований — даек диабазов. Постмагматический гидротермальный процесс имел прерывистый многостадийный характер, в результате чего был сформулирован ряд минеральных парагенезисов, наложенных друг на друга. На исследуемом месторождении в нижних горизонтах имеет место наложение медно-висмутовой минерализации на серебро-свинцовую. В результате этого наблюдаются комплексные руды, основными компонентами в которых являются флюорит, серебро (полиметаллическая формация), а попутными — медь и висмут (медно-висмутовая формация). Руды прожилково-вкрапленные, представляют собой мелкие прожилки и вкрапленники рудных минералов в эффузивах (туфах и лавобрекчиях), очень редко встречаются рудные жилы мощностью 2—5 м.

В связи с разновременностью отложения различных комплектов рудных минералов возникает вопрос о связи между полиметаллической и медно-висмутовой формаций.

Опробование проводилось по керну глубоких скважин, которые подсекали нижний горизонт по очень редкой разведочной сети.

Полагаем, что исходные данные представляют выборку из двумерного нормального распределения, параметры которого неизвестны. Выборочный коэффициент корреляции равен 0,82, что при 72 наблюдениях с очень высокой достоверной вероятностью указывает на наличие линейной зависимости между y и x ($0,82 > r_{0,05} = 0,23$). Считая y — случайной величиной, а x — детерминированной, с помощью программы, составленной авторами, методом наименьших квадратов получены оценки коэффициентов регрессии. Уравнение регрессии приняло вид:

$$Ag = 26,15 + 1317,92Vi, \quad (6)$$

где роль y играет Ag и x — Vi .

Вопрос выбора достоверной вероятности $1-\varepsilon$ представляет самостоятельный интерес. На наш взгляд, в ряде случаев оправдано взять ее равной 0,9, т. е. $\varepsilon=0,1$. Последнее обусловлено следующим обстоятельством. Известно из практики утверждения запасов в ГКЗ СССР (Государственной комиссии запасов СССР), что расхождения в рядовых блоках до 10% не влекут за собой принудительного ограничения так называемых ура-

ганных проб [1, 2]. Поэтому можно в первом приближении ориентироваться на эту цифру.

Тогда с доверительной вероятностью 0,9 из формул (3) и (5) следует, что дисперсия δ^2_x не должна превосходить 0,0049, а дисперсия δ^2_y быть не меньше 37 500 (соответственно коэффициент вариации $x(Bi)$ должна быть меньше 0,62, а $y(Ag)$ — больше 1,11).

С доверительной вероятностью 0,95 δ^2_x не должна превосходить 0,0013, а дисперсия δ^2_y быть не менее 42 308 (для коэффициентов вариаций получаются значения соответственно 0,32 и 1,18).

С доверительной вероятностью 0,99 δ^2_x не должна превосходить 0,00053, а дисперсия δ^2_y быть не меньше 46154 (для коэффициентов вариаций получаются значения соответственно 0,22 и 1,22).

При выполнении условия устойчивости регрессии с необходимой доверительной вероятностью можно вместо формул (2, 4), учитывающих случайность признака x , применять формулы классической линейной регрессии [3, 5].

ABSTRACT

It is given necessary and sufficient conditions for the stability of the regression's equation for the classical model of determined regression meanwhile these variables are stochastic. The geological example is considered.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган И. Д. Подсчеты запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М., «Недра», 1971, 295 с.
2. Коган Р. И. Интервальные оценки запасов полезных ископаемых. М., «Недра», 1972. 142 с.
3. Родионов Д. А., Коган Р. И., Белов Ю. П. Сравнительный анализ алгоритмов и программ для прогнозирования геологических свойств и рудоносных объектов.— В кн.: «Использование математических методов при прогнозе рудоносности». М. ИГЕМ, 1975, с. 67—73.
4. Рощин Ю. В. Способы конъюэнтного анализа и выявление систематических ошибок по сопоставлению рядов измерений.— В кн.: Вопросы рудной радиометрии, вып. 2. М., Атомиздат, 1968, с. 120—132.
5. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М., «Мир», 1973. 957 с.

МАРКОВСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗЕРЕН В РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ГРАНИТАХ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ И ПЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В докладе на XXIV сессии Международного геологического конгресса (Монреаль, 1972) мною было показано, что процессы грейзенизации редкометальных гранитов вызывают изменение в них свойств последовательностей зерен главных породообразующих минералов: калиевого полевого шпата (Or), кварца (Q) и плагиоклаза (Ab) [2]. Будучи первичномагматическими образованиями, эти граниты имеют последовательности зерен, не отличимые от простых цепей Маркова, как это следует из концепции идеальных гранитов [1]. Если появление в граните таких минералов, как мусковит или топаз, связано с появлением или исчезновением зерен главных породообразующих минералов (Or, Q, Ab), то это приводит к изменению структуры первичной последовательности зерен, вызывая изменение ее марковских свойств. Учитывая все сказанное, возникают следующие вопросы:

1) какие главные породообразующие минералы возникают в процессе преобразования породы?

2) какое положение в статистическом смысле занимают вторичные зерна главных породообразующих минералов в последовательности первичных зерен?

3) с какими геологическими процессами связано возникновение метасоматических изменений?

Выявляя эти, достаточно тонкие, особенности структуры гранита, можно проверить различные модели преобразования породы и, опираясь на последние, сделать выводы петрологического характера, важные для поисково-разведочных работ. Ознакомление в полевых условиях с некоторыми редкометальными гранитами Памира, Забайкалья, Якутии, Чехии показало, что весьма характерным телом являются белые граниты возвышенности Арга-Ынних-Хая в Якутии [3, 4].

Геологическая характеристика гранитного тела массива Арга-Ынних-Хая. Массив гранитоидов обнажается на поверхности древнего эрозионного плато, сложенного песчано-глинистыми отложениями триаса — в пределах гор Арга-Ынних-Хая и в руслах ручьев, секущих это плато. В центре массива располагается тело белых гранитов, имеющее в плане форму серпа, обращенного выпуклостью на запад. Наибольшая ширина тела около 0,6 км, расстояние между концами «серпа» (по меридиану) 1,6 км. Контакт белых гранитов с вмещающими гранодиорит-

порфирами четкий, резкий, сопровождается перекристаллизацией вмещающих пород. В экзоконтакте появляются турмалины, слюда, иногда касситерит. Ксенолиты гранодиорит-порфиров встречаются внутри тела белых гранитов. Поверхность западного контакта подсечена многочисленными скважинами. Установлено, что тело погружается на запад под углами 30—40°. Скважины в восточной части тела вскрывают вмещающие породы на глубине 110—170 м.

В северо-западном экзоконтакте тела белых гранитов расположена конусовидная сопка, сложенная эруптивной брекчией, в составе которой крупные угловатые обломки гранодиорит-порфира, сцементированные белым гранитом. Эруптивная брекчия гранодиорит-порфира в свою очередь брекчирована и сцементирована кварцем и турмалином, придающим цементу черный цвет. В цементе иногда содержатся включения рудных минералов.

Белые граниты плотные, мелкозернистые, в редких случаях слабопорфировидные, имеют характерную микроструктуру, напоминающую долеритовую или монцонитовую. Преобладают узкие призматические зерна альбита, между которыми располагаются ксеноморфные выделения калиевых полевых шпатов, изометричные зерна кварца. Почти всегда присутствуют светлая слюда, топаз, амблигонит (монтебразит) и мелкие дипирамидальные кристаллы темного касситерита. Состав гранита сильно колеблется, но в среднем: альбита — около 40%, кварца — примерно 33% и калиевого полевого шпата — до 20%. Вблизи района эруптивной брекчии тело белых гранитов рассечено многочисленными трещинами, прослеживаются зоны развития опала и каолина.

Концептуальная модель. Секущие резкие контакты белых гранитов с вмещающими породами, наличие в них ксенолитов гранодиорит-порфира и широкое развитие эруптивной брекчии с цементом из белого гранита доказывают, что существовал расплав, из которого образовались белые граниты. Этот расплав был инъецирован в гранодиорит-порфиры. Однако дальнейшая история формирования породы остается неясной. Возможно, что в полость, возникшую при формировании основания кальдеры, которую и выполняет белый гранит, был инъецирован расплав, богатый летучими компонентами и давший при кристаллизации тело белых гранитов. Возможно также, что на породу был наложен процесс инфильтрационного метасоматоза.

С целью выяснения истории формирования белых гранитов были изучены в них соотношения между главными породообразующими минералами. Эти соотношения были выражены в такой форме, которая позволила бы сформулировать альтернативы о свойствах последовательностей зерен, возникающих при прохождении процесса по той или иной схеме.

Схематизируя наблюдения над изученными последовательностями зерен в шлифах, можно отметить следующее:

1) наиболее отчетливо выражено появление в породе вторичных индивидов альбита, при этом они значительно более мелкие по сравнению с первичными индивидами минералов;

2) размещение зерен Or , Q и Ab в пределах шлифа более или менее равномерно, какой-либо ориентировки в сростании зерен не наблюдается;

3) распространены обрастания кристаллами альбита отдельных зерен кварца (образцы 45, 53, 57, 58, 59, 66, 71, 79, 88, 83, 85, 89, 90, 96, 99, 101, 107, 115, 120);

4) обрастание альбитом отдельных зерен калиевого полевого шпата фиксируется более редко (образцы 23, 44, 53, 59, 60, 76, 79, 84, 107, 120);

5) скопления узкопризматических кристаллов альбита в виде цепочек зерен наблюдались в образцах 15, 71, 84, 94, 96, 120;

6) имеет место внедрение индивидов альбита по трещинам спайности внутрь зерен калиевых полевых шпатов (образцы 36, 45, 49, 51, 58 и 59) или по трещинам внутрь зерен кварца (образцы 36, 90);

7) встречаются скопления мелких зерен альбита около крупных зерен плагиоклазов также альбитового состава (образцы 29, 45, 89).

Концептуальная модель выражена нами в терминах, отнесенных к случайной прямой, секущей породу. Схематизация наблюдений (7 пунктов) позволяет сформулировать следующую концептуальную модель, которую мы будем проверять как статистическую гипотезу.

1. Исходной случайной последовательностью, которая преобразуется метасоматическим процессом, является простая, однородная и обратимая цепь Маркова на трех состояниях x , y и z , со специфической матрицей переходных вероятностей, обладающей, в частности, свойством:

$$P(a_I/a_I) \leq P(a_I),$$

где P — вероятность; a — изучаемое зерно, при этом $I \in \{Or, Q, Ab\}$. Предполагается, что стационарное и начальное распределение для этой цепи совпадают.

2. Так как вторичные зерна намного меньше первичных, структура породы в целом сохраняет признаки магматического происхождения, а процесс метасоматоза означает замещение в породе, происходящее без потери твердого состояния, то предполагается следующее:

а) первичные зерна после метасоматоза не изменяют своего взаимного положения;

б) ни одно первичное зерно не уничтожается полностью (это понимается, конечно, в вероятностном смысле).

3. В изложенной ситуации вторичные зерна минерала x (зерна минералов y и z могут быть только первичными, а зерна

минерала x — как первичными, так и вторичными) могут появляться:

а) рядом с первичным зерном состава x или между двумя зернами состава x . Эту схему мы назовем схемой очагового зерна;

б) между зернами y и z , где y и z могут занимать любую позицию по отношению ко вторичному зерну минерала x . Эту схему мы будем называть схемой «чужеродных вrostков».

При реализации схемы очагового зерна или схемы чужеродных вrostков в соответствующей позиции может образоваться либо одно вторичное зерно минерала x , либо несколько его вторичных зерен. Напомним, что речь идет о возникновении вторичных зерен только у одного минерала x . Процесс может идти по схеме очагового или чужеродного зерна, или может наблюдаться наложение этих двух процессов.

Что касается специфики размещения вторичных зерен в новой последовательности в целом, то предполагается, что вторичные зерна размещены однородно, обратимо, и при этом возникновение вторичного зерна между парой первичных зерен происходит независимо от того, что происходит с другими парами первичных зерен в анализируемой последовательности.

Если по петрологическим данным можно установить, что процесс идет по одной из изложенных схем, то затем путем соответствующих расчетов можно проверить, по какой именно. Это достигается путем статистических расчетов, опирающихся на теорему, которую назовем «рабочей», и соответствующую лемму.

Эти теорема и лемма определяют алгоритмы, лежащие в основе соответствующих программ.

Рабочая теорема. Пусть процесс метасоматической переработки идеального гранита протекает по одному минералу x по изложенной выше концептуальной модели. При этом пусть имеет место одна из следующих возможных альтернатив:

а) реализация схемы чужеродных вrostков, с образованием либо одного, либо многих зерен минерала x ;

б) реализация схемы очагового зерна, с образованием либо одного, либо многих зерен минерала x , так что прирастание вторичного зерна минерала x происходит: 1) либо к первичному зерну x , на его контакте с первичным зерном иного состава чем x (вариант $x\bar{x}$), 2) либо к первичному зерну x , на его контакте с первичным зерном того же состава (вариант xx);

в) реализуется совместное действие двух схем, причем в качестве одной берется любая схема из группы «а», в качестве второй — любая схема из группы «б».

Если процесс прошел по изложенной схеме, то наблюдаемая последовательность зерен в породе является обратимой и одно-

родной, с простыми марковскими переходами через зерна минералов y и z .

Последовательность зерен представляет марковскую цепь второго порядка в том, и только в том случае, когда процесс шел по схеме чужеродных вростков, с образованием одного вторичного зерна на контакте двух первичных зерен.

Во всех остальных случаях в рамках рассматриваемой концептуальной модели возникают последовательности зерен, обладающие марковостью более высокого порядка, чем второй, либо существенно немарковские последовательности.

Для отделения случаев, когда процесс прошел с образованием последовательности по схеме очагового зерна, с образованием на контакте первичных зерен одного вторичного зерна, важна следующая лемма.

Лемма. Если процесс метасоматоза прошел по любой из очаговых схем с образованием на контакте одного вторичного зерна, то для анализируемой последовательности зерен должна иметь место следующая пропорция:

$$\frac{P(y^{(h)}/x^{(h-1)}z^{(h-2)})}{P(z^{(h)}/x^{(h-1)}z^{(h-2)})} = \frac{P(y^{(h)}/x^{(h-1)}y^{(h-2)})}{P(z^{(h)}/x^{(h-1)}y^{(h-2)})},$$

где P — переходная вероятность, x — минерал, дающий как первичные, так и вторичные зерна, y и z — минералы, образующие только первичные зерна. Верхние индексы (h) , $(h-1)$, $(h-2)$ указывают позицию зерна в последовательности.

Статистическая проверка концептуальной модели и выбор альтернатив. В приводимой таблице даны результаты основных расчетов, связанных с проверкой концептуальной модели и с выбором альтернатив.

Из данных, содержащихся в таблице, видно следующее:

а) в образцах 104 и 227 встречены породы, не отличимые от идеальных гранитов. Они очень редки и, видимо, являются реликтами первичномагматической породы. Близки к идеальным гранитам образцы 87, 97, 116.

б) абсолютно доминирующим был процесс альбитизации породы. При этом между двумя неплаггиоклазовыми зернами в любом их сочетании могло внедриться одно вторичное зерно Аб.

в) около трети образцов породы претерпели метасоматоз, где процесс прошел иначе, чем отмечено в пунктах а) и б). Среди этих образцов выделяется 13, взятый из забоя в карьере. При формировании этой породы из идеального гранита к зерну первичного плаггиоклаза могло прирастать одно зерно вторичного альбита.

В породах, представленных образцами 23, 33, 35, 40, 52, 89А, 92 и 220, процесс проходил по схеме чужеродных вростков, с образованием многих зерен альбита на контакте между двумя неплаггиоклазовыми зернами.

Номер образца	Длина массива	Число кусков	Принятый порядок маркировки	Значения Λ , полученные при проверке марковских гипотез			Значения Λ , полученные при проверке частных марковских переходов через ($\chi^2_{0,05} = 9,49$)			Значения $\chi^2_{H^2}$, полученные при проверке однородности	
				$H_0 : H_1$ $\chi^2_{0,05} = 9,49$	$H_1 : H_3$ $\chi^2_{0,05} = 21,03$	$H_2 : H_3$ $\chi^2_{0,05} = 51,00$	Or	Q	Ab	$\chi^2_{0,05}$	χ^2_H
13	882	49	>2	19,17	24,97	66,76	2,92	6,82	15,22	2711,6	990,4
23	1164	39	>2	56,07	100,65	51,26	5,08	5,84	89,73	2158,5	879,0
24	1059	42	2	33,88	47,98	50,31	9,07	21,41	17,49	802,3	624,7
25	1003	53	2	13,07	72,02	42,62	14,63	14,36	43,03	1008,3	890,5
26	1208	52	2	38,04	85,87	42,36	17,46	12,89	55,51	989,6	715,8
27	1032	40	>2	43,79	49,13	55,42	1,15	10,99	36,99	2213,9	923,5
57	1214	42	2	41,04	49,95	26,82	2,46	3,60	43,88	802,3	616,6
28	1210	43	2	36,54	69,33	44,95	4,96	2,64	61,72	821,1	779,4
29	972	40	2	34,64	59,28	34,38	7,21	2,80	49,27	764,7	513,6
30	1075	45	2	22,20	43,83	31,88	10,69	7,82	25,32	858,6	574,2
31	1008	55	>2	21,51	51,59	50,41	11,11	5,25	35,23	1045,6	649,0
32	1152	46	2	22,39	53,47	36,76	0,68	2,02	50,77	877,3	624,3
33	1135	59	>2	14,16	38,47	56,23	5,98	7,86	24,62	2764,8	1072,2
34	1032	54	0	6,02	20,00	—	—	—	—	131,0	102,2
35	1068	61	>2	19,61	33,21	64,11	1,72	1,23	30,25	3350,0	1046,8
36	1044	58	2	24,60	53,80	40,93	7,61	1,48	44,71	1101,7	736,6
37	1126	52	2	20,57	25,72	41,81	10,55	3,13	12,04	989,6	759,5
38	1039	57	>2	64,24	26,77	58,19	0,67	13,78	12,32	3137,2	908,9
39	1073	41	2	34,33	52,20	31,82	10,73	6,99	34,48	783,5	571,2
40	1082	56	>2	11,44	22,66	58,84	4,87	3,28	14,51	3084,0	1015,2
41	1015	47	2	13,55	57,40	48,22	8,93	6,35	42,11	896,0	673,1
42	1142	42	2	20,01	59,79	44,40	9,53	4,77	45,49	802,3	683,8
43	1008	44	2	19,24	40,57	23,03	3,18	14,42	22,96	839,8	406,7
44	1168	32	2	14,56	45,58	28,94	1,89	1,65	42,04	614,0	444,2
44 ^A	1142	34	2	42,06	68,84	23,29	4,16	8,08	56,60	651,8	492,7
45	1090	49	2	43,37	44,06	41,33	3,07	2,06	38,92	933,5	795,2
46	1013	37	2	11,09	52,23	45,29	5,23	8,49	38,50	708,3	556,3
47	1140	41	2	67,41	119,32	21,51	5,47	17,94	95,91	783,5	556,3
48	998	55	2 (0)	9,07	49,49	45,31	5,72	4,25	39,52	1045,6	861,1
49	1164	41	2	28,44	54,90	40,73	6,67	4,15	44,08	783,5	568,2
50	1134	39	2	21,54	42,58	46,73	3,81	2,61	36,16	746,0	548,3
51	1083	58	2	14,66	24,72	50,54	1,84	0,79	22,09	1101,7	801,2
52	1001	49	>2	63,52	37,90	73,52	2,57	8,24	27,09	2711,6	961,8
53	1040	48	2 (0)	8,74	47,92	43,34	1,83	6,93	39,16	914,8	663,2
53 ^A	1164	45	2	32,60	129,81	46,74	12,73	8,28	108,80	858,6	630,0
54	1157	40	>2	65,03	66,22	55,94	11,18	28,78	26,26	2213,9	910,5
55	1134	48	2	32,41	64,10	47,81	4,46	2,68	56,96	914,8	607,5
56	1088	58	2 (0)	4,04	44,32	35,81	7,25	5,81	31,25	1101,7	692,8
58	950	36	2	51,82	54,76	32,90	5,55	2,70	46,51	689,5	497,2
59	1086	51	2	72,36	31,88	27,56	6,61	9,32	15,95	970,9	721,6
60	995	49	2	46,13	35,69	28,62	1,42	2,35	31,92	933,5	648,9
61	1086	50	2	28,96	30,10	36,82	12,28	8,30	9,51	952,2	728,2
63	984	41	2	32,97	34,08	29,69	2,66	7,10	24,32	783,5	554,4
64	1144	47	2	50,57	64,63	33,05	2,30	1,75	60,57	896,0	664,7
65	1015	51	2	23,86	36,95	41,65	3,46	6,54	26,95	970,9	722,9
66	1157	40	2	43,29	65,98	36,77	6,19	7,20	52,58	764,7	506,6
67	1170	53	>2 (0)	8,09	33,05	58,30	2,16	1,21	29,68	2924,4	1106,2
68	1020	32	>2	92,64	57,66	57,13	36,33	5,00	16,33	1770,3	743,1
69	1041	63	2 (0)	3,13	84,44	26,94	17,86	3,65	62,93	1195,1	415,6
70	979	54	2	31,24	33,05	36,94	5,97	4,33	22,76	1026,9	714,7
70 ^A	1089	48	2	29,03	98,54	35,52	7,12	4,87	86,55	914,8	765,5
70 ^B	1130	41	2	16,05	86,44	40,00	6,65	3,90	75,88	783,5	602,4
71	1139	24	2	42,27	28,02	41,46	1,78	6,12	20,12	462,4	358,8
73	992	32	>2	70,46	59,99	65,26	28,46	3,23	28,31	1770,3	754,8
74	1092	53	2	36,94	28,18	50,37	3,53	2,00	22,65	1008,3	764,6
75	1169	40	2	16,27	34,72	37,81	1,39	1,09	32,23	764,7	540,6
76	1061	48	2	13,36	52,50	47,32	7,96	7,63	36,91	914,8	837,6
77	1031	45	2	16,52	53,55	43,49	8,85	9,42	35,08	858,6	639,5
78	1079	60	2	32,28	52,22	50,04	1,00	0,36	50,86	1139,0	765,3
79	1021	51	2	37,42	36,26	47,99	8,86	8,14	19,26	970,9	905,3
80	1080	51	2	19,02	24,27	33,26	14,76	5,14	4,36	970,9	648,5

Номер образца	Длина массива	Число кусков	Принятый порядок марковости	Значения λ , полученные при проверке марковских гипотез			Значения λ , полученные при проверке частных марковских переходов через ($\chi^2_{0,05} = 9,49$)			Значения $\chi^2_{H^2}$, полученные при проверке однородности	
				$H_0 : H_1$ $\chi^2_{0,05} = 9,49$	$H_1 : H_2$ $\chi^2_{0,05} = 21,03$	$H_2 : H_3$ $\chi^2_{0,05} = 51,00$	Or	Q	Ab	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{H^2}$
81	1126	46	2	11,37	92,73	38,27	8,38	9,39	74,96	877,3	666,8
82	1078	56	2	26,69	38,21	39,49	4,66	2,58	30,97	1064,3	647,0
82 ^A	1156	22	2	49,03	53,35	48,06	10,18	19,06	24,10	424,3	424,0
15	1006	48	2	14,37	43,37	49,24	4,63	2,25	36,49	914,8	659,8
83	1098	37	2 (0)	7,56	27,40	45,51	4,86	2,05	20,49	708,3	552,1
84	1154	47	2	34,95	57,96	28,92	4,23	8,12	45,61	896,0	600,2
85	1094	59	2	22,28	37,39	42,64	2,46	8,29	26,63	1120,3	709,0
86	1132	24	2	39,81	60,40	39,65	9,69	6,63	44,09	462,4	371,6
87	1031	45	1	12,26	16,67	—	—	—	—	302,9	275,8
88	1100	54	2	28,01	21,44	38,96	4,54	4,23	12,68	1026,9	498,6
89	979	45	2	39,77	62,56	43,07	7,28	3,14	52,14	858,6	549,9
89 ^A	1074	60	> 2	31,33	62,24	66,36	6,95	5,21	50,08	3296,8	1083,5
90	1084	56	2	19,33	38,24	37,36	4,74	2,62	30,88	1064,3	755,4
91	1156	37	2	176,65	109,20	41,16	4,25	23,43	81,52	708,3	600,4
92	1143	63	> 2	37,78	40,30	54,52	6,58	7,43	26,29	3456,4	1218,2
93	1068	38	2	58,86	61,24	32,23	5,89	3,32	52,03	727,2	507,8
94	1066	63	2	20,05	36,68	26,33	4,07	2,82	29,79	1195,1	796,1
95	1082	60	2	23,42	45,32	42,76	8,68	8,68	27,96	1139,0	808,3
96	969	47	2	82,42	39,25	35,78	1,83	1,58	35,84	896,0	635,6
97	1116	39	0	3,58	15,40	—	—	—	—	97,4	91,6
97 ^B	1121	35	2	27,81	45,77	36,09	10,71	9,59	25,47	670,7	824,6
72	1067	64	0	4,07	9,44	—	—	—	—	153,2	136,7
98	1006	46	> 2	58,14	37,96	52,40	11,94	10,46	15,56	2545,8	883,6
98 ^A	1082	19	2	25,93	54,92	30,80	45,09	5,59	4,23	367,0	202,8
99	1110	52	2	39,03	42,59	32,97	6,00	4,05	32,53	989,6	699,6
100	1103	27	2	77,35	89,00	47,13	16,39	4,66	67,95	519,4	429,3
101	1094	50	2	30,09	46,59	41,84	8,06	6,00	32,53	952,2	648,7
102	983	49	2	44,81	22,14	43,81	4,19	1,63	16,32	933,5	642,5
103	1124	26	2	42,99	85,73	28,73	14,70	18,55	52,48	500,5	409,5
211	990	50	2	61,68	32,62	38,68	1,22	5,66	25,74	952,2	616,9
210	1023	46	2	158,50	32,15	16,60	5,61	10,10	16,44	877,3	496,2
209	755	46	2	69,58	36,90	35,87	2,87	5,85	28,18	877,3	581,7
208	1050	56	2	122,57	69,77	41,34	9,00	7,06	53,70	1064,3	749,8
104	1112	52	1	150,43	20,88	—	—	—	—	347,8	281,8
105	1144	48	> 2	32,52	65,87	60,81	19,28	10,18	36,41	2656,3	874,2
106	1127	51	2	17,35	35,97	30,17	7,40	5,44	23,13	970,9	687,2
107	1170	54	2	52,16	42,49	37,53	1,61	1,28	39,60	1026,9	684,6
108	1100	53	2	24,51	49,33	45,72	7,70	2,61	39,01	1008,3	704,1
111	1184	45	2	53,09	60,78	46,59	7,88	6,52	46,38	858,6	574,5
112	1200	37	2	78,54	58,37	41,85	3,73	2,58	52,06	708,3	479,3
109	1185	39	2	43,69	94,80	30,61	14,36	2,91	77,53	746,0	440,2
110	1201	39	1	37,24	20,78	—	—	—	—	264,2	213,0
113	1184	49	2	57,64	81,68	34,54	1,76	1,37	78,55	933,5	695,2
114	1182	33	2	75,10	57,45	50,42	8,62	1,78	47,05	632,9	515,3
115	1189	34	2	49,18	44,79	49,04	2,05	5,16	37,58	651,8	520,6
116	967	45	1	48,79	18,80	—	—	—	—	302,9	240,6
118	1164	39	2	33,95	62,30	42,11	1,29	13,53	47,48	746,0	595,2
119	1050	46	2	68,73	41,66	34,98	10,17	3,06	28,43	877,3	646,0
120	1146	62	2	33,94	53,44	41,62	4,38	2,51	46,55	1176,4	701,8
176 ^A	1112	47	2	78,43	68,04	43,78	1,02	10,82	56,21	896,0	615,7
212	986	47	2	57,82	80,43	45,61	1,89	4,90	73,64	896,0	616,8
213	970	45	2	59,03	60,42	33,21	4,80	13,37	42,25	858,6	657,1
214	911	35	2	87,44	51,06	50,24	4,13	3,47	43,46	670,7	486,5
215	955	43	2	28,54	42,24	30,48	2,66	6,88	32,70	821,1	595,5
216	1024	50	2	42,25	75,85	43,89	7,01	9,20	59,64	952,2	625,0
217	902	45	2	74,12	27,43	32,41	1,45	0,71	25,27	858,6	635,4
218	1016	49	2	46,74	72,92	49,46	6,29	12,93	53,70	933,5	639,7
219	1008	48	2	66,76	69,02	48,00	21,00	4,58	43,44	914,8	685,2
220	1048	40	> 2	49,40	104,83	52,61	4,98	4,52	95,32	2213,9	807,2
221	1052	32	2 (0)	6,10	42,64	25,85	11,96	4,11	26,57	614,0	268,2
222	1008	37	2	17,02	24,60	25,83	4,53	3,44	16,63	708,3	372,4
223	2776	65	> 2	298,47	116,90	56,48	40,39	10,57	65,94	3562,8	—

Номер образца	Длина массива	Число кусков	Принятый порядок марковости	Значения Δ , полученные при проверке марковских гипотез			Значения Δ , полученные при проверке частных марковских переходов через ($\chi^2_{0,05} = 9,49$)			Значения $\chi^2_{H_i}$, полученные при проверке однородности	
				$H_0 : H_1$ $\chi^2_{0,05} = 9,49$	$H_1 : H_2$ $\chi^2_{0,05} = 21,03$	$H_2 : H_3$ $\chi^2_{0,05} = 51,00$	Or	Q	Ab	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{H_i}$
224	977	39	2	125,74	33,88	25,10	4,81	4,80	23,28	746,0	477,3
225	983	45	2 (0)	4,62	26,03	31,40	7,35	5,30	13,38	858,6	597,2
226	1008	48	2	12,88	45,50	44,36	6,84	4,60	34,00	914,8	597,1
227	1031	25	1	262,37	10,91	—	—	—	—	173,00	171,7
228	1026	38	2	90,69	40,13	41,91	14,83	6,72	18,58	727,2	488,1
229	1523	73	2	62,02	75,13	32,27	4,34	11,53	59,27	—	592,5
233	1034	57	2	23,18	85,71	36,42	1,47	7,22	77,02	1083,0	574,8
238	1063	38	2	111,02	163,91	40,14	14,15	3,36	146,40	727,2	529,0
241	1038	40	2	44,53	23,90	32,02	2,35	4,38	17,18	764,7	578,7
242	1062	51	2	65,09	46,59	34,80	1,83	6,61	38,14	970,9	740,9
243	1047	47	2	77,54	55,76	44,96	4,92	5,93	44,91	896,0	691,7
244	975	42	>2	163,15	54,07	64,04	9,14	16,16	28,77	2324,6	863,6
245	1050	46	>2	79,14	60,55	55,66	10,37	4,18	46,01	2545,8	1039,7
246	1091	38	2	59,66	54,75	50,77	4,73	7,14	42,89	727,2	535,5
247	2120	88	2	93,18	100,06	31,39	2,76	6,32	90,98	—	1261,6
249	1037	49	2	40,27	70,14	38,93	7,26	7,70	55,18	933,5	655,1
250	959	40	2	172,60	45,46	25,53	10,25	5,49	29,72	764,7	512,8

В породе, представленной образцами 80 и 61, отобранных из одного горизонта, процесс прошел по схеме чужеродных вростков, с образованием одного зерна вторичного калиевого полевого шпата, возникшем на контакте двух первичных зерен, кварцевого или альбитового состава в любом их сочетании.

Геологическая интерпретация. Образцы для исследования были отобраны так, чтобы можно было составить погоризонтные карты на двух уровнях, расположенных на расстоянии около 50 м друг над другом (рисунок).

На карты опробования были нанесены два признака: 1) принадлежность пробы к породе, где метасоматоз прошел по схеме «чужеродных вростков», с образованием одного вторичного зерна на контакте; 2) принадлежность пробы к породам, где отсутствует данный тип метасоматоза.

Анализируя результаты исследования, можно отметить следующее.

1. Наличие эруптивных брекчий с обломками гранодиорит-порфира, сцементированных белыми гранитами, а также даек белого гранита, секущих вмещающие гранодиорит-порфиры, четко указывает на образование белых гранитов из магматического расплава.

2. Весьма ограниченное число участков белых гранитов, обладающих свойствами идеального гранита, показывает, что первичная магматическая порода была переработана метасоматическим путем.

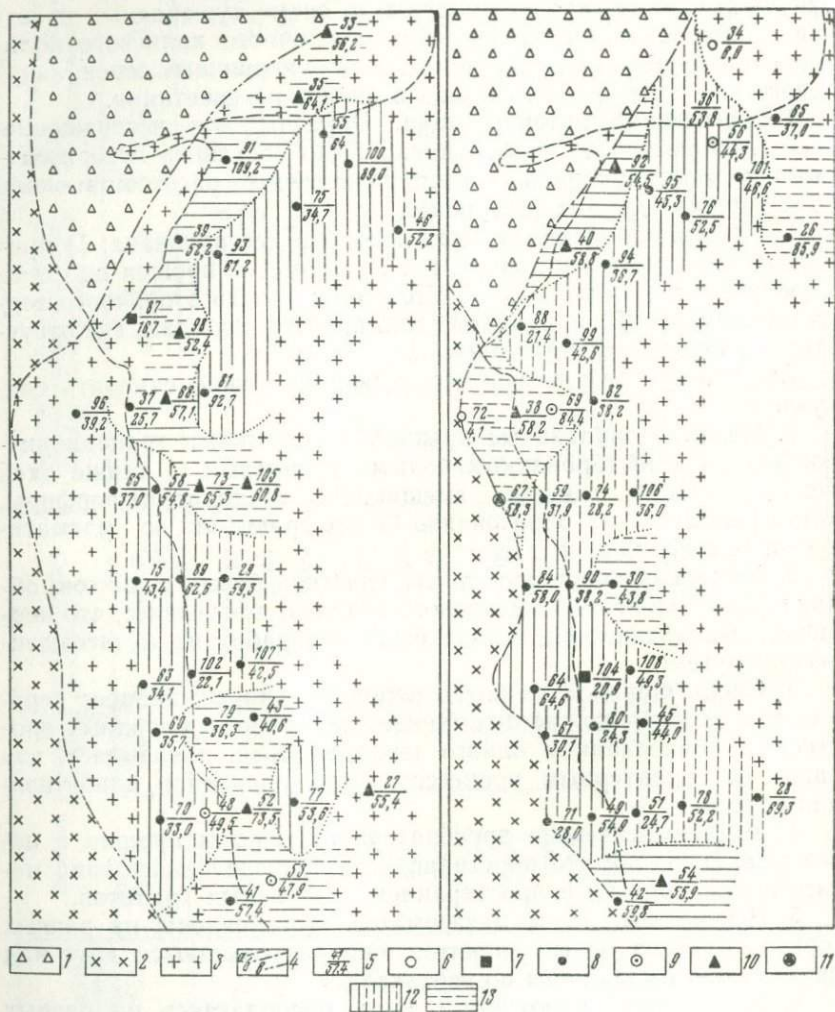
3. Очень широкое развитие пород, в которых процесс переработки идеального гранита прошел по схеме чужеродных вростков, с образованием одного зерна альбита, показывает, что наиболее характерным процессом была умеренная альбитизация породы.

4. Метасоматические преобразования породы прошли в целом зонально, так что простираение зон определенного типа метасоматоза связано с простираением тела белых гранитов.

5. Выявленные типы метасоматоза установлены на разных горизонтах тела белых гранитов, они располагаются друг над другом, т. е. выдержаны по вертикали.

6. Выявленные однотипные зоны, располагаясь на разных горизонтах друг над другом по вертикали, находятся на разном расстоянии от западной поверхности контакта тела белых гранитов.

Сказанное можно проинтерпретировать следующим образом. При формировании кальдеры в трещину между боковой частью кальдеры и опущенной центральной частью проник магматический расплав и образовал серповидное (в плане) тело белых гранитов. Позднее в теле белых гранитов возникла почти вертикальная зона растяжения, имеющая простираение, параллельное простираению контакта тела с вмещающими породами. Вдоль этой зоны растяжения произошло частичное раскрытие межзер-



Погоризонтные карты распространения типовых схем метасоматоза в белых гранитах массива Арга-Блыных-Хая. Слева — нижний горизонт, справа — верхний; расстояние между горизонтами 50 м.

1 — эруптивная брекчия, 2 — белые граниты, 3 — гранодиорит-порфиры, 4 — границы геологических тел (а — на поверхности, б — по верхнему горизонту, в — по нижнему горизонту), 5 — точки опробования (верхняя цифра — номер образца, нижняя — значение Λ для принятой альтернативы). Свойства изученных последовательностей зерен калиевого полевого шпата, кварца и альбита в белых гранитах: 6 — не отличимые от бернуллиевской последовательности, 7 — не отличимые от простой марковской цепи (первого порядка), 8 — соответствуют марковской цепи второго порядка, 9 — то же, что 8, но с бернуллиевским свойством, 10 — соответствуют марковской цепи выше второго порядка, 11 — то же, что 10, но с бернуллиевским свойством; 12 — области развития метасоматоза по схеме «чужеродных вrostков», 13 — области развития метасоматоза не по схеме чужеродных вrostков (сплошная штриховка означает, что данная схема метасоматоза встречена во всех пробах разреза (скважины), прерывистая — не во всех образцах разреза)

новых контактов и по образовавшимся каналам прошла инфильтрация растворов, производивших метасоматоз. Инфильтрация растворов и, соответственно, метасоматоз были интенсивнее в пределах зоны растяжения, в той части, которая обращена к висячему боку тела белых гранитов.

ABSTRACT

White granite from Yakutiya was investigated with counting of transitions between the grains of potassium feldspars, quartz and albite. The aim of the investigation was as follows.

— Clarification the problem is the white granite an ideal granite (according to Vistelius) or it is transformed by some metasomatic processes.

— If the granite had transformed, mapping of the areas of expansion of revealed types of metasomatic transformations.

The most appropriate approach to the problem was possible on the basis of development of some markovian model of the investigating processes. The stochastic process of the metasomatic transforming of this granite corresponds with some of partial Markov transitions. This process could be originated by the scheme of «strange grains» with the possibility of appearance of one grain of new mineral.

Results of testing Markov hypotheses show that the white granite was intruded and crystallized as the ideal granite, but the main mass of this granite was transformed by metasomatic processes mainly appearance of one grain of albite rarely of potassium feldspar.

Thus within the uniform white granite revealed the zones having special Markovian properties. Such zones sometimes exhibit some mineralisation, having a practical importance.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вистелиус А. Б. Идеальный гранит и его свойства: вероятностная модель, статистическая идентификация, естественные породы.— В кн.: Математические методы в геологии и геологическая информация. М., «Наука», 1972, с. 26—37.
2. Романова М. А. О влиянии начальных стадий грейзенизации на строение последовательностей зерен в магматических гранитах.— В кн.: Математические методы в геологии и геологическая информация. М., «Наука», 1972, с. 42—53.
3. Смирнов С. С., Дубовик М. М., Епифанов П. П., Муромцев А. И., Розенцвит А. О. Минералогический очерк Ано-Адычанского района.— В кн.: Труды ИГН АН СССР, вып. 46, минер. серия, (9), 1941, с. 1—62.
4. Чайковский В. К., 1961. Геология оловоносных месторождений Северо-Востока СССР. М., Госгеолтехиздат, 1961. 201 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА

Основную содержательную нагрузку генетических моделей составляют представления о процессе, приведшем к формированию изучаемого объекта. Свойства модели прежде всего зависят от метода, реализующего взаимосвязь предполагаемых характеристик процесса и фиксируемых свойств объекта исследования. Эта взаимосвязь в наиболее полном виде может быть выявлена только в аналитических моделях, причем независимо от того, в какой терминологии (вероятностной или детерминированной) трактуется механизм процесса.

Аналитической моделью седиментогенеза мы называем любые генетические построения ретроспективного плана, связанные с восстановлением условий осадконакопления, в которых теми или иными методами устанавливается аналитическая зависимость между признаками объекта и соответствующими им характеристиками среды его формирования.

Определенные таким образом аналитические модели седиментогенеза являются объектом исследования либо математической геологии в трактовке А. Б. Вистелиуса [3], если седиментогенез интерпретируется как случайный процесс, либо математической геологии в расширительном толковании, допускающем разработку и детерминированных схем процесса [6].

Из разработанных в настоящее время аналитических моделей седиментогенеза наибольший интерес представляют те, в которых содержательная геологическая постановка задачи удачно сочетается с изящными математическими средствами ее решения. Такими моделями, к примеру, являются модель сульфатной седиментации А. Б. Вистелиуса и О. В. Сарманова [4], модели слоенакопления А. Н. Колмогорова [5] и А. Б. Вистелиуса [2], модель эвапоритовой седиментации Л. И. Бриггса и Г. Н. Поллака [1] и ряд других.

Целью настоящей статьи является краткое изложение аналитической модели, описывающей различные аспекты оформления фракционной структуры терригенных пород.

Зависимость концентрации частиц в осадке от расстояния до источника сноса. Рассмотрим пространство, заполненное несжимаемой жидкостью, перемещающейся со скоростью u . Направим ось x в сторону движения жидкости и, ограничиваясь плоским движением, ось z вертикально вверх. Будем считать, что режим движения жидкости турбулентный с коэффициентом вертикального турбулентного обмена k . Источник сноса непрерывно (с интенсивностью Q) поставляет кластические частицы, имеющие

гидравлическую крупность ω . Будем искать поток частиц Q_0 через единицу площади горизонтальной поверхности, расположенной на некотором (произвольном) расстоянии под источником, и распределение расстояний от источника, на которых концентрация частиц q гидравлического радиуса ω не превосходит заданную q_0 .

При данной постановке задачи предполагается, что частицы, находящиеся на плоскости $z=0$, являются слоеформирующими. Поэтому теоретически полученное распределение расстояний от источника именно для этого класса частиц следует сравнивать с эмпирически наблюдаемыми распределениями.

Итак, требуется найти величину

$$Q_0 = \left(\omega q + k \frac{\partial q}{\partial z} \right) \Big|_{z=0}, \quad (1)$$

где q — концентрация частиц в потоке; уравнение диффузии применительно к данной задаче представляется в виде

$$u \frac{\partial q}{\partial x} - \omega \frac{\partial q}{\partial z} = k \frac{\partial^2 q}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Задачу решаем при следующих граничных условиях

$$(uq)_{x=0} = \delta(z-h) \quad (3)$$

$$q|_{x=\infty} = 0. \quad (4)$$

Здесь $\delta(y)$ — дельта-функция Дирака, а h — мощность потока. Решение уравнения (2) будем искать в виде

$$q = \varphi(z) \exp \left\{ - \left(\mu^2 + \frac{\omega^2}{4ku} \right) x \right\}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (2), получим уравнение для определения $\varphi(z)$

$$k\varphi'' - \omega\varphi' + \left(\mu^2 u + \frac{\omega^2}{4k} \right) \varphi = 0, \quad (6)$$

откуда

$$\varphi(z) = \exp \left(- \frac{\omega z}{2k} \right) \left[A \cos \sqrt{\frac{u}{k}} z \mu + B \sin \sqrt{\frac{u}{k}} z \mu \right]. \quad (7)$$

Здесь A и B — постоянные интегрирования, а μ — некоторый безразмерный множитель. Если заменить $\varphi(z)$ в (5) его выражением (7), то получим так называемое элементарное решение уравнения (2). Для нахождения общего решения элементарное требуется проинтегрировать по μ в пределах от 0 до ∞ , считая при этом A и B функциями от μ .

Тогда

$$q = \exp \left[-\frac{w}{2k} \left(z + \frac{wx}{2u} \right) \right] \int_0^{\infty} e^{-x\mu^2} \left\{ A(\mu) \cos \sqrt{\frac{u}{k}} z\mu + \right. \\ \left. + B(\mu) \sin \sqrt{\frac{u}{k}} z\mu \right\} d\mu. \quad (8)$$

Для нахождения функций $A(\mu)$ и $B(\mu)$ используем граничное условие (3). Подставив в него выражение для q в виде (8), получим

$$\frac{1}{u} e^{\frac{ws}{2\sqrt{ku}}} \delta \left(\sqrt{\frac{k}{u}} \xi - h \right) = \int_0^{\infty} \{ A(\mu) \cos \xi\mu + B(\mu) \sin \xi\mu \} d\mu, \quad (9)$$

где $\xi = \sqrt{\frac{u}{k}} z$. Представляя левую часть (9) интегралом Фурье

$$f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) \cos x(t - \tau) d\tau, \quad (10)$$

найдем выражения для функций $A(\mu)$ и $B(\mu)$:

$$A(\mu) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{u} \exp \left(\frac{w\eta}{2\sqrt{ku}} \right) \delta \left(\sqrt{\frac{k}{u}} \eta - h \right) \cos \eta\mu d\eta, \\ B(\mu) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{u} \exp \left(\frac{w\eta}{2\sqrt{ku}} \right) \delta \left(\sqrt{\frac{k}{u}} \eta - h \right) \sin \eta\mu d\eta. \quad (11)$$

Формулы (11) значительно упростятся, если использовать основное свойство дельта-функций, т. е.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(t - x) dx = f(t). \quad (12)$$

Тогда (11) преобразуются к виду:

$$A(\mu) = \frac{1}{\pi\sqrt{ku}} \exp \left(\frac{wh}{2k} \right) \cos \sqrt{\frac{u}{k}} h\mu, \\ B(\mu) = \frac{1}{\pi\sqrt{ku}} \exp \left(\frac{wh}{2k} \right) \sin \sqrt{\frac{u}{k}} h\mu. \quad (13)$$

Подставив (13) в (8), найдем интересующую нас концентрацию частиц в движущемся водном потоке применительно к граничным условиям решаемой задачи

$$q = \exp \left[-\frac{w}{2k} \left(z + \frac{wx}{2u} \right) \right] \int_0^{\infty} \frac{1}{\pi\sqrt{ku}} e^{-x\mu^2 + \frac{wh}{2k}} \times \\ \times \cos \sqrt{\frac{u}{k}} (h - z)\mu d\mu. \quad (14)$$

Или, если воспользоваться известным соотношением

$$\int_0^{\infty} e^{-p \cdot x^2} \cos qx \, dx = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{p}} e^{-\frac{q^2}{4p}}, \quad p > 0, \quad \text{то} \quad (15)$$

$$q = \frac{1}{2\sqrt{\pi k u x}} \exp\left[-\frac{ux}{4k} \left(\frac{h-z}{x} - \frac{w}{u}\right)^2\right]. \quad (16)$$

Для отыскания требуемого в задаче потока частиц через плоскость $z=0$ в виде функции от x (длины транспортировки кластического материала) подставим (16) в (1).

Тогда

$$Q_0(x) = \frac{\sqrt{u}}{4\sqrt{\pi k x}} \left(\frac{h}{x} + \frac{w}{u}\right) \exp\left[-\frac{ux}{4k} \left(\frac{h}{x} - \frac{w}{u}\right)^2\right]. \quad (17)$$

Функция (17), как легко проверить, имеет один максимум. Она непрерывна и положительна в интервале $(0, \infty)$ и обращается в нуль на концах интервала. Кроме того, она нормирована на единицу. Поэтому $Q_0(x)$ удовлетворяет всем требованиям к плотности вероятности случайной величины x .

Если в функции (17) обозначить

$$y = 4Q_0 \frac{u}{w} e^{-wh/2k} \sqrt{\frac{\pi k}{u}}; \quad \alpha = \frac{2k}{wh} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{uh}{w},$$

то она преобразуется к виду (с учетом нормировки на единицу)

$$y(x) = \frac{e^{1/\alpha}}{2\sqrt{2\pi\alpha\beta}} \frac{(\beta+x)}{x\sqrt{x}} \exp\left[-\frac{1}{2\alpha} \left(\frac{\beta}{x} + \frac{x}{\beta}\right)\right]. \quad (18)$$

Здесь α имеет смысл параметра масштаба, а β — параметра сдвига. Легко также проверяется, что при $\alpha=\beta=1$ график плотности (18) совпадает с нормированной логнормальной плотностью, у которой математическое ожидание равно нулю, а дисперсия единице.

Отметим также, что решение задачи в виде (17) дает возможность получить распределение размеров частиц (точнее их гидравлических крупностей), осаждающихся из потока на фиксированном расстоянии x_0 от источника сноса. Для этого (17) требуется проинтегрировать по w в пределах от 0 до ∞ и полученное выражение нормировать на единицу. В итоге получим

$$Q(w) = \frac{\left(\frac{h}{x_0} + \frac{w}{u}\right) \exp\left[-\frac{ux_0}{4k} \left(\frac{h}{x_0} - \frac{w}{u}\right)^2\right]}{x_0^2 \Phi\left(\frac{h\sqrt{u}}{\sqrt{2kx_0}}\right) + \frac{\sqrt{uk}}{2x_0\sqrt{\pi x_0}} \exp\left(-\frac{uh^2}{4kx_0}\right)}, \quad (19)$$

где $\Phi(z)$ — интеграл вероятностей.

Найденные соотношения апробировались на материале М. Крикмура [10], изучавшего с помощью трассеров закономерности переноса осадков в русловом потоке р. Идл (Великобритания).

тания). Хорошее сопоставление расчетной кривой (18) с экспериментальными данными [8] свидетельствует о том, что выведенная нами функция связи гидродинамических характеристик потока с концентрацией частиц в донных осадках, удаленных на расстояние x от источника сноса, удачно описывает физику процесса рассортировки терригенного материала однонаправленным водным потоком. Кроме того, нами использован материал по концентрации пикроильменита в пермских, нижнеюрских и современных потоковых отложениях Мало-Ботуобинского района Западной Якутии [9]. Здесь также отмечено удовлетворительное согласие найденного распределения с фактическим материалом [8].

ABSTRACT

The paper considers various types of mathematical models of sedimentation and discusses the possibilities to apply those for solving of geological problems. The main attention is given to new model which describe the forming of terrigenous rock's grain size texture. The model is deduced from the theory of turbulent diffusion.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бригге Л. И., Поллак Г. Н. Цифровая модель соленакопления. — В кн.: Соленакопление и солоносные отложения осадочных бассейнов М., «Недра», 1972, с. 66—72.
2. Вистелиус А. Б. Красноцветные отложения полуострова Челекен. Л. «Наука», 1966, 304 с.
3. Вистелиус А. Б. Математическая геология (состояние, перспективы). — В кн.: Математическая геология. Реферативный систематический указатель. Л., Б-ка АН СССР, 1969, с. 11—56.
4. Вистелиус А. Б., Сарманов О. В. Стохастическое обоснование одного геологически важного распределения вероятностей. — «Докл. АН СССР», 1947, т. 58, № 4, с. 631—634.
5. Колмогоров А. Н. Решение одной задачи из теории вероятностей связанной с вопросом о механизме слоеобразования. — «Докл. АН СССР» 1949, т. 65, № 6, с. 693—696.
6. Основные тенденции математизации геологии. — «Сов. геология», 1972, № 3, с. 3—17. Авт.: И. И. Абрамович, Ю. К. Бурков, В. В. Груза и др.
7. Романовский С. И. Фациальные реконструкции по данным гранулометрии. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та (ВСЕГЕИ)», 1975, т. 223, с. 46—74.
8. Романовский С. И., Соловейчик Р. Э. Приложение теории турбулентной диффузии к моделированию процессов оформления фракционной структуры осадка. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та (ВСЕГЕИ)», 1975, т. 223, с. 40—52.
9. Салтыков О. Г., Скриплева Г. И. Эволюция зерен пикроильменита в потоковых отложениях Мало-Ботуобинского района (Западная Якутия). — «Геология и геофизика», 1973, № 2, с. 112—117.
10. Crickmore M. J. Measurement of sand transport in rivers with special reference to traces methods. — „Sedimentology“, 1967, vol. 8, N 3, p. 7—44.

РЕШЕНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ЗАДАЧ
НА МОДЕЛИ УСЛОВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ФУНКЦИИ

При опробовании месторождений полезных ископаемых (и при инженерно-геологических изысканиях) собирается большой цифровой материал, используемый для подсчета запасов. Вместе с подсчетом запасов естественно было бы оценивать погрешность произведенного подсчета, она дала бы возможность оценить «гарантированные» запасы и оптимизировать процесс разведки.

Еще в прошлом веке Н. Псарев [4] для оценки погрешностей подсчета запасов использовал тот факт вариационной статистики, что дисперсия среднего \bar{x} , определенного по выборке

$$x_1, x_2, x_3 \dots x_n \quad (1)$$

независимых, одинаково распределенных случайных величин с дисперсией σ^2 , равна

$$D\bar{x} = \frac{\sigma^2}{n}. \quad (2)$$

Применение этой формулы на практике показало, что она дает завышенный результат из-за зависимости соседних проб. Эта зависимость учтена Ж. Матероном [5] в новом направлении, названном им «геостатистикой». Здесь ряд (1) считается значениями случайной функции $x(t)$:

$$x_0 = x(t_0), \quad x_1 = x(t_1) \dots x_n = x(t_n), \quad (3)$$

зависящей от пространственного параметра t , а задача оценки погрешности подсчета запасов заменяется задачей оценки математического ожидания $Ex(t)$. Автор настоящего доклада из соображений адекватности предлагает третью модель, основанную на использовании изменчивости геологических признаков.

Рассмотрение фактических материалов по изменчивости различных геологических свойств — инженерно-геологических характеристик, мощности, пористости и концентраций различных элементов (для определенности будем говорить о концентрациях) — показывает, что разности концентраций статистически более устойчивы, чем сами концентрации. Поэтому для описания $x(t)$ удобна предложенная А. Н. Колмогоровым [2] модель процесса со стационарными приращениями:

$$\begin{aligned} E[x(t) - x(s)] &= 0, \\ E[x(t) - x(s)]^2 &= v(|t - s|) = v(\tau). \end{aligned} \quad (4)$$

Важнейшей характеристикой такого процесса является структурная функция $v(\tau)$ (по Матерону, вариограмма). Конкретные материалы показывают, что удобной аппроксимацией $v(\tau)$ является степенная функция [3]:

$$v(\tau) = \omega^2 \tau^\gamma, \quad 0 \leq \gamma < 2. \quad (5)$$

Замечательным свойством процессов со степенной структурной функцией является тот факт, что при опробовании с постоянным шагом h корреляция соседних приращений $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$, оценкой которой является

$$r = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta_i \Delta_{i+1}}{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2},$$

остаётся постоянной, зависящей лишь от γ и не зависящей от h . Оценкой γ является безразмерная величина

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{\lg 2} \lg(r + 1) + 1. \quad (6)$$

Параметр ω^2 зависит от выбора масштабов по осям t, x ; при расстоянии между точками пробоотбора $h_i = t_i - t_{i-1}$ оценкой ω^2 является

$$\omega^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i^2}{h_i^\gamma}. \quad (7)$$

В реальных геологических ситуациях γ меняется от 0 до 1. Случаю $\gamma=0$ отвечает последовательность локально независимых случайных величин с дисперсией

$$\sigma^2 = \omega^2/2. \quad (8)$$

Такая модель удобна для описания резко изменчивых концентраций Au, U, W, иногда Pb, Zn, Co, Cu. Заметим, что эта модель от вариационной модели отличается тем, что независимость случайных величин предполагается лишь локальной, ей не противопоставлено наличие плавных закономерных изменений (тренда), поэтому оценка дисперсии (6) в таких случаях будет меньше, чем обычно используемая оценка

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (9)$$

Случаю $\gamma=1$ отвечает винеровский процесс. Он является хорошей моделью для локального изменения мощности.

Вероятностная модель для решения задач подсчета запасов
Значения (3) известны, и вся неопределенность для нас сосредоточена в интервалах между точками опробования. Множество

траекторий, случайным образом меняющихся в интервалах между точками опробования, но в точках опробования принимающих значения (3), являются для нас множеством возможных траекторий рассматриваемой функции. Таким образом мы приходим к модели условной случайной функции $\tilde{x}(t)$: условие, наложенное на функцию, заключается в том, что в точках опробования функция приняла известные значения (3), и надо рассмотреть

$$\tilde{x}(t) = x(t|x_0, x_1, \dots, x_n) \quad (10)$$

(здесь и ниже после вертикальной черты выписано условие, налагаемое на функцию). В большинстве случаев влиянием удаленных проб можно пренебречь, учитывая лишь влияние проб, ограничивающих рассматриваемый интервал между пробами:

$$\tilde{x}(t) = \begin{cases} x(t|x_0, x_1) & \text{при } t_0 \leq t \leq t_1, \\ x(t|x_1, x_2) & \text{при } t_1 \leq t \leq t_2, \\ \dots & \dots \\ x(t|x_{n-1}, x_n) & \text{при } t_{n-1} \leq t \leq t_n. \end{cases} \quad (11)$$

Подсчет запасов и оценка его погрешности без «ураганных» проб. Предположим дополнительно, что распределения условного процесса $\tilde{x}(t)$ гауссовские. Тогда можно показать, что несмещенной оценкой линейных запасов

$$\omega = \int_{t_0}^{t_n} x(t) dt \quad (12)$$

является

$$\hat{\omega} = E \int_{t_0}^{t_n} \tilde{x}(t) dt = \sum_{i=1}^n h \frac{x_{i-1} + x_i}{2}. \quad (13)$$

Именно так и считают запасы геологи, взвешивая каждую пробу на зону ее влияния.

Для оценки дисперсии $\hat{\omega}$

$$\varepsilon^2 = E \left[\int_{t_0}^{t_n} \tilde{x}(t) dt - \hat{\omega} \right]^2$$

получаются следующие формулы. Для процесса с локально независимыми значениями ($\gamma=0$).

$$\varepsilon^2 = \frac{\omega^2}{8} \sum_{i=0}^n (h_i + h_{i+1})^2; \quad (14)$$

эта оценка погрешности близка к предлагавшейся П. Л. Каллистовым [1]; для компактности записи в ней введено обозначение $h_0 = h_{n+1} = 0$. Для винеровского процесса ($\gamma=1$)

$$\varepsilon^2 = \frac{\omega^2}{12} \sum_{i=1}^n h_i^3. \quad (15)$$

Для процесса со структурной функцией (5) общего вида

$$\varepsilon^2 \approx \frac{(2-\gamma)^2}{4(\gamma+2)} \omega^2 \sum_{i=1}^n h_i^{\gamma+2}, \quad (16)$$

где зависящая лишь от γ функция

$$\frac{(2-\gamma)^2}{4(\gamma+2)}$$

подобрана так, что при $\gamma=0$ при постоянном шаге опробования и при $\gamma=1$ получаются точные решения (14) и (15), а при промежуточных значениях и постоянном шаге опробования разнице предлагаемого и точного решения остается менее 10%, что меньше, чем погрешность самой модели.

Численный эксперимент. Качество известных и предлагаемых решений можно оценить, моделируя процесс разведки тел, для которых линейные запасы (12) известны. В качестве такого тела была взята фотография рудной жилы, площадь которой ω была измерена планиметром. На жилу набрасывалась сеть равноотстоящих «скважин», в которых измерялась мощность жилы, после чего оценивалась площадь жилы $\hat{\omega}$ (13), а также погрешность этой оценки:

- а) вариационным методом (2);
- в) методами «геостатистики» [5];
- с) методами, рекомендуемыми теорией численного интегрирования с заменой производной $x(t)$ вторыми разностями в ряду (3);
- д) предлагаемым способом (16) на модели условной случайной функции.

Пределав такую процедуру 20 раз (со случайным расположением начальной точки сети опробования t_0), мы получали представление о реальной погрешности оценки $\hat{\omega}$ и строили для нее 95-процентный доверительный интервал. Такой эксперимент проводился для разных шагов опробования h .

Результаты эксперимента показали, что метод «с» непригоден к решению задачи на реальных объектах: истинные и «предсказанные» погрешности не коррелированы. Оценки, полученные предлагаемым способом «д» в подавляющем большинстве случаев лежат в доверительном интервале, причем оценки (15) и (16) различаются мало, так как изменчивость мощности близка к винеровскому процессу. Последний факт был подмечен принимавшим участие в эксперименте Ж. Матероном; полученные им оценки «в» в 4 раза больше, чем (15) и в доверительный интервал не попали. Оценки «а» в 10—30 раз больше реальных дисперсий. Таким образом, из рассмотренных способов предла-

гаемый оказался единственным, показавшим приемлемый результат.

Тот же вывод получился при аналогичных экспериментах по оценке площади географических объектов: озер, островов и т. д. Был бы, конечно, более ценен эксперимент с реальными концентрациями, но его проведение встречает понятные затруднения.

Подсчет запасов и оценка его погрешности при «ураганных» пробах. При наличии ураганных проб γ близко к нулю, и погрешность может быть оценена по (14): статистически эта формула эквивалентна (2), а последняя справедлива для любых, в том числе логнормальных распределений. Но в этих случаях оценка запасов (13) для небольших интервалов оказывается плохой, о чем неоднократно писалось в геологической литературе. Чтобы найти способ взвешивания проб в такой ситуации, рассмотрим более сложную модель.

Пусть теперь $x(t)$ не концентрация, а ее логарифм, так что измеряемая концентрация составляет

$$y(t) = e^{x(t)},$$

распределения логнормальны и $x(t)$ является гауссовским процессом с плавно меняющимся математическим ожиданием и постоянной ковариационной функцией:

$$Ex(t) = a(t) = \ln b(t),$$

$$E[x(t) - a(t)][x(t + \tau) - a(t + \tau)] = c - \frac{\omega^2}{2} \tau^2.$$

Функции $a(t)$ и $b(t)$ могут быть получены сглаживанием скользящим окном, c является дисперсией $x(t)$ относительно $a(t)$, а оценки γ и ω^2 выписаны в (6) и (7). Пусть $x(t)$ — условный процесс (11). Введем обозначения: $v_j = x_j - a(t_j)$, $b_j = b(t_j - h_i/2)$. Предположив, что γ и $c - \omega^2/2$ являются малыми величинами одного порядка, можно показать, что несмещенной оценкой среднего значения концентрации $y(t)$ на интервале $t_{i-1} \leq t \leq t_i$

$$\frac{w_i}{h_i} = \frac{1}{h_i} \int_{t_{i-1}}^{t_i} y(t) dt$$

является

$$\begin{aligned} \frac{\hat{w}_i}{h_i} = \frac{1}{h_i} E \int_{t_{i-1}}^{t_i} e^{x(t)} dt = b_j \exp \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{2c} \right) (v_{i-1} + v_i) - \right. \\ \left. - c \left(1 - \frac{\omega^2}{2c} \right)^2 \right] \frac{1 + \gamma \frac{\omega^2}{2c} (v_{i-1} + v_i)}{1 + \gamma \omega^2 \left(1 - \frac{\omega^2}{2c} \right)} + O(\gamma). \end{aligned} \quad (17)$$

Полученная оценка сглаживает ряд проб, занимая вес больших и завышая вес малых концентраций.

Если промышленное оруденение непрерывно, а ряд проб достаточно длинный, оценки запасов всего опробованного интервала по (13) и по (17) дадут близкий результат. Если же промышленное оруденение прерывисто, то оценка запасов по (17) может оказаться значительно меньше, чем традиционная оценка (13). В литературе [6] отмечалось, что традиционная оценка завышает реальные запасы месторождений с прерывистым оруденением.

Результаты, изложенные выше, показывают, что это завышение может быть чисто математическим эффектом; в таких случаях, по-видимому, оценку (17) следует предпочесть традиционной (13).

Решение задач в объеме месторождения. Все вышензложенное касалось того случая, когда:

(А) — значения процесса точно известны в точках опробования.

Кроме этого варианта, решен ряд аналогичных задач по оценке параметров изменчивости, подсчету запасов и оценке его погрешности, когда

(В) — значения процесса в точках опробования определяются с ошибками, дисперсии которых известны;

(С) — известны средние значения процесса на некоторых интервалах (такая ситуация возникает при опробовании керна);

(D) — известны в некоторых точках (точно или с ошибками) значения функции, зависящей от двух пространственных координат;

(Е) — известны (точно или с ошибками) средние значения функции на сторонах эксплуатационных блоков.

Комбинации этих вариантов, зависящие от способов разведки и опробования, дают возможность решать задачу подсчета запасов и оценки его погрешности в объеме месторождения. Последовательность процедур при этом сохраняется той же, что и обычно при подсчете запасов.

Пусть, например, месторождение разведано системой буровых профилей, заложенных вкрест простирания, и скважины пройдены с неполным отбором керна. Тогда линейные запасы в каждой скважине и дисперсию погрешности можно считать по варианту (С). Изменение этих линейных запасов вкрест простирания по профилю скважин приводит к задаче (В). Изменение подсчитанных площадных запасов от профиля к профилю по всему месторождению (по простиранию) опять приводит к задаче (В), решение которой дает оценку запасов всего месторождения и погрешность этой оценки.

ABSTRACT

A series of resource calculation problems has been solved on the model of conditional random function: this function is known for the sampled point of average of the function for the sampled intervals. Combination of such problems gives the possibility to calculate resource and to estimate an error of this calculations. If there are extraordinary (hurricane) samples and the deposit discontinuous the resource estimation proves to be less than the traditional one.

Evaluations of the square of ore vein by equidistant sections are modeled repeatedly so that the real deviation of such estimation was received. It is in a good correspondence with the proposed estimation of errors by methods of numerical integration are less than real deviation, while G. Matheron's ones are more and variational stabilic ones are higher.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каллистов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании.— «Сов. геология», 1956, сб. 53, с. 118—151.
2. Колмогоров А. Н. Кривые в гильбертовском пространстве, инвариантные по отношению к однопараметрической группе движений.— «Докл. АН СССР», т. 26, 1940, № 1, с. 6—9.
3. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч. 2. М., «Наука», 1947. 720 с.
4. Псарев Н. Приложение теории вероятности к вычислениям при разведке на золото.— «Вестник золотопромышленности и горного дела вообще». Томск, 1899, № 15, 367 с.
5. Matheron G. *Traite de geostatistique applique*. Paris, 1967, 408 p.
6. Truscott S. T. *Mine Economics*. London, 1937. 173 p.

УДК 549.1 : 002.6

Г. Б. Бокий

**О КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ В СВЯЗИ
С РАЗРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ЯЗЫКА**

В процессе разработки интегральной автоматической информационной системы по химии возник вопрос о вводе в эту систему минералов. Просмотр существующих определений показал, что ни одно из них не свободно от недостатков.

Учитывая их, мы предложили следующее определение [2]: «Минеральным видом называется простое вещество или химическое соединение, выкристаллизовавшееся в результате геологического или космического процесса из природной физико-химической системы. Состав минерального вида соответствует компоненту системы или участку фазы переменного состава, в котором один из компонентов резко преобладает, или же сложному промежуточному химическому соединению этой системы близкого к постоянному составу».

Такие промежуточные соединения (двойные в двойных системах, тройные — в тройных и т. д.) обладают свойством делить систему на подсистемы, в которых эти соединения могут быть выбраны за компоненты. Количественные величины вместо слов «резко преобладает», «близкий состав» и т. п. легко могут быть вставлены в определение, после того как будут приняты в международном масштабе величины условных пределов, о которых говорилось выше.

На основе этого определения нами в 1974 г. был составлен тезаурус для минералов [3], содержащих в качестве анионов следующие химические элементы: S, Se, Te, N, P, As, Sb, Bi, C, Si [3]. Этот тезаурус имеет государственный номер 24.10.35.

В формульной части тезауруса помещены минералы с идеальными химическими формулами, после которых в квадратных скобках приведены примеси, найденные в данном минерале в количестве, превышающем 1%; например, висмутин — $\text{Bi}_2\text{S}_3[\text{Cu}_{1,5}, \text{Fe}_{1,5}, \text{Sb}_{2,8}, \text{Pb}_{1,8}]$. Наличие квадратных скобок в формульной части регистра химической системы сразу же показывает, что читатель имеет дело с природным веществом — минералом.

По тезаурусу, число минеральных видов, известных до 1960 г. — 287, по справочнику [5] — 275, но совпадает из них

только 257, т. е. 30 видов не относятся в справочнике к отдельным минералам, а 18 выделенных в справочнике как отдельные минералы не могут считаться минеральными видами.

Группировка минералов по классам давно осуществляется (в курсах минералогии и соответствующих справочниках) по химическому принципу, т. е. по химическому составу минералов. Однако этот принцип никогда не выдерживался полностью. По этой причине как число классов, так и число таксонов, объединяющих классы (будем называть их типами), различно у разных авторов, так же как и различен их объем. Между тем, понятие класса (типа) не менее важно, чем понятие минерального вида.

Еще в 1956 г. автором в докладе на XX сессии Международного геологического конгресса [1] была предложена классификация основанная на следующих двух положениях: 1) классификация минералов (т. е. природных, главным образом неорганических, химических соединений) должна быть общей с классификацией искусственных химических соединений. Поскольку первых очень мало (около 3000, что соответствует менее 0,1% от общего количества соединений), постольку каждый минерал должен быть расположен на определенном месте химической классификации. Создавать какую-то отдельную классификацию для минералов, несогласующихся с общей химической классификацией, неправильно. Другое дело, что после того как общая классификация будет создана или по крайней мере будут выяснены до конца принципы ее составления, можно будет выбрать из нее минералы и рассматривать их отдельно;

2) чтобы сделать такую классификацию максимально естественной (интенциональной), необходимо положить в основу ее периодический закон химических элементов, вернее, развернутую форму периодической таблицы химических элементов. Эта форма удобна потому, что в ней металлы располагаются в левой части, а неметаллы — в правой. Так, во всех классификациях выделится класс окислов, класс фторидов и т. д.

К сожалению, понятия «металл» и «неметалл» также являются перекрещивающимися; между ними нет резкой границы. Например, в одних условиях более тяжелые элементы будут вести себя как металлы, в других — как неметаллы. В этом случае граница должна быть условной; я предлагаю провести ее в таблице по следующим пяти элементам: В, Si, Ge, Sn, Bi. Элементы, расположенные левее этой границы, — металлы, а элементы, находящиеся на границе и правее от нее — неметаллы. Металлы в кристаллах неорганических соединений являются электроположительными структурными единицами — катионами, а неметаллы — электроотрицательными — анионами. У первых кристаллические структуры будут иметь координационное число 7 и выше (обычно 8 или 12), у вторых — 6 и ниже (обычно 4 и даже до нуля у благородных газов). У первых характер

связи между атомами в основном металлический, у вторых — ковалентный. Одной этой границы достаточно, чтобы выделить основные типы.

Соединения, попадающие в один тип, будут соединениями металлов с неметаллами одной подгруппы. Кроме того, по традиции выделяется тип простых веществ (элементов) и тип интерметаллических соединений. Вероятно, целесообразно также более дробное разделение веществ, содержащих водород, — элемент, резко отличающийся от всех остальных, а также координационных соединений. В результате можно наметить следующие 10 типов соединений:

1. Простые вещества (элементы).
2. Интерметаллы.
3. Соединения металлов с бором (бориды).
4. Соединения с углеродом и с кремнием (карбиды и силициды).
5. Соединения с элементами V подгруппы.
6. Соединения с элементами VI подгруппы.
7. Соединения с элементами VIIв подгруппы (в этом типе соединений водород является аналогом галогенов).
8. Соединения водорода с бором и углеродом (т. е. бороводороды и углеводороды) и производные этих соединений с другими элементами.
9. Тройные и более сложные соединения галогенов с металлами с образованием комплексов и их производные с другими элементами (координационные или комплексные соединения).
10. Соединения благородных газов.

Выделение большого числа типов нецелесообразно, так как тогда стало бы невозможным использовать для их обозначения десятичную систему. Минералы встречаются не во всех этих десяти случаях. Среди них третий и нулевой типы остаются «пустыми». Наличие пустых «классов» для естественных классификационных систем вполне допустимо (достаточно вспомнить наличие пустых клеток, оставленных Д. И. Менделеевым, в первых вариантах периодической системы химических элементов).

Каждый из этих типов легко разделить по входящим в него неметаллическим элементам на классы. Так выделяются классы окислов, сульфидов, хлоридов и т. д. Всего мы условились считать неметаллическими элементами 27, они и дадут основные классы химических соединений. Ясно, что если какой-то тип для минералов будет «пустым», например нулевой, то и все классы этого типа тоже будут пустыми. В типе 8 следует различать класс бороводородов (81)* и класс углеводородов (82). Сюда отнесем и все их производные с другими элементами, т. е., например, класс 82 будет классом органических соединений. В этом классе число минералов весьма немногочисленно, а для искусственных химических соединений он самый многочисленный

* Классы удобно обозначать двузначными числами, где первая цифра указывает на принадлежность его к определенному типу.

(более 4 миллионов). Тип 9 представлен комплексными (координационными) соединениями, также весьма редкими в минералогии. Комплексные соединения по сравнению с органическими должны быть отнесены к более высокому таксону хотя бы по тому, что они могут в качестве лигандов иметь как неорганические, так и органические молекулы или радикалы.

Все сказанное выше о типах 1—7 относится, строго говоря, только к соединениям, в которых анионная часть состоит из атомов одного элемента. В действительности же анионная часть химической формулы минералов, как правило, содержит несколько неметаллических элементов. Для того чтобы такие вещества распределить по классам, надо установить их иерархию. Автор считает, что при наличии у соединения двух и большего числа различных неметаллических атомов анион, расположенный в подгруппе большего номера, по которому назван класс, является преобладающим в химической формуле (например, соединение Fe As S будет находиться в классе сульфидов). Если оба аниона расположены в одной подгруппе, то старшим является наиболее легкий (и наиболее электроотрицательный, кроме водорода). Вещество состава Ca Cl Br будет рассматриваться в классе хлоридов.

Неметаллические элементы часто образуют устойчивые группировки, заряженные или нейтральные (OH^- , H_2O , NH_4^+ и др.). Наличие этих группировок должно быть известно до того как предпринимается попытка найти место в классификации для того или иного минерала. Из анионной части прежде всего выделяются нейтральные частицы (например, молекулы воды) и комплексные катионы, а оставшийся состав анализируется по анионам для отнесения минерала к тому или иному классу. Соединения, содержащие нейтральные частицы, располагаются после соответствующих соединений, не содержащих таких частиц; например: MgSO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и т. д.

Катионы, составленные атомами неметаллов, располагаются после катионов, составленных атомами металлов той же валентности (например, Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+). Так, например, в классе фторидов прежде всего будут выписаны вещества (минералы), содержащие в качестве аниона только атомы фтора. Их следует располагать в порядке периодической системы начиная с Ia подгруппы сверху вниз (Li , Na , K , Rl , Cs , NH_4^+ , далее Be , Mg , Ca и т. д.). Затем выписываются вещества, содержащие дополнительные анионы, начиная с VII в подгруппы (сверху вниз), затем VI подгруппы и т. д. При этом, конечно, соблюдается правило, что анион, по которому назван класс, остается в данном соединении преобладающим. Эти правила позволяют в каждом классе разместить все минералы в ряд, в котором для каждого вещества и для каждого нового минерала найдется свое место.

Проблема расположения химических соединений (минералов) в определенный ряд по классам позволяет упорядочить весь тезаурус для минералов и создает условия для выделения таксонов, располагающихся между видом и классом.

ABSTRACT

The minerals are classified according to their chemical composition. The basis of this classification is the expanded form of chemical elements periodical system.

The boundary between the metals and non-metals is passing along the elements B, Si, Sn, Bi (metals are arranged on the left of the boundary and non — metals are arranged on the right of the boundary). Compounds consisting of metals and non — metals from one sub-group will be the main types, i. e. 6 types. Besides by tradition there should be distinguished types of elementary substances and intermetallic compounds as well as numerous synthetic compounds of hydrogen and boron or carbon and derivatives of these compounds with other elements and at last ternary and more complex compounds of halogens and metals and their derivatives — coordination compounds.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боккий Г. Б. Принципы классификации химических соединений, в том числе минералов. Междунар. геол. конгресс XX сессия. Секция XI—А. Петрология и минералогия. Мексика, 1956. 19 с.
2. Боккий Г. Б. Определение понятия минерального вида.— «Зап. Всесоюз. минер. о-ва СССР», 1974, ч. 103, вып. 6, с. 735—739.
3. Боккий Г. Б., Кочанова Н. Н., Братченко Л. Н. Тезаурус для минералов. Т. I, М., ВИНТИ, 1976, 298 с.
4. Интегральная информационная система по химии.— «Научно-техническая информация», сер. 1, № 7, 17, 1972, с. 52—61. Авт.: Г. Б. Боккий, В. В. Бондарь, Х. Кекк и др.
5. Минералы. Справочник. М., Изд-во АН СССР, 1960. 616 с.

УДК 550.8 : 002.6

Н. Н. Поплавский, Б. П. Коротков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА МОДУЛЬНОГО ТИПА: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Разрабатываемый нами комплекс программ автоматизированной ИПС предназначен для программного обеспечения информационной базы геологических автоматизированных подсистем управления и может служить в качестве базовой системы для автоматизированного банка геологических данных.

Основные требования к системе свелись к следующему:

— система должна обладать способностью в одинаковой степени легко осуществлять информационную обработку разнородных по типу материалов, какими являются фактические геологические, геофизические, геохимические, гидрогеологические и другие геологоразведочные данные;

— система должна допускать возможность постепенного «вживания» в существующую систему информационного потока и геологического документооборота;

— система не должна зависеть от класса решаемых задач и форм входной документации;

— система должна ограничиться требованиями лишь необходимости упорядочения документации и минимальных переделок существующих и находящихся в обращении традиционно сложившихся форм геологических документов и тем самым предоставить возможность использовать фактический материал, накопленный в предыдущие годы;

— построение логики информационных массивов, словарей, классификационных деревьев должно осуществляться программно на основании описания структуры входных документов;

— система должна принадлежать классу развивающихся систем;

— система должна обладать гибкостью в отношении синтеза новых форм и структуры информационных массивов;

— язык обращения к системе должен представлять собой формальный язык, но весьма близкий к естественному;

— система не должна требовать специального предварительного кодирования входной информации на этапе «ручной» подготовки данных к вводу в ЭВМ; кодирование информации там, где это неизбежно или оправданно, должно осуществляться программно;

— система должна обеспечить возможность поиска данных о требуемых геологических объектах и выдачи или подготовки для последующей обработки значений любой заданной комбинации свойств найденных объектов;

— система должна обеспечить сохранность информационных объектов и регламентацию доступа к ним.

В соответствии с перечисленными требованиями математическое обеспечение разрабатываемой ИПС построено по модульному принципу. В оперативной памяти ЭВМ постоянно находится диспетчер системы, который по директивам, поступающим с резидентного устройства, перемещает и активизирует отдельные модули системы, распределяет внешние устройства, управляет работой системы.

Каждый модуль системы соответствует самостоятельному комплексу работ. Всего выделено семь модулей:

— формирование структуры машинного описания формы унифицированного документа, информация которого подлежит накоплению в системе;

— ввод, синтаксический анализ исходных текстов и запись их в корректировочный массив на магнитной ленте;

— корректировка исходных текстов в корректировочном массиве;

— формирование (пополнение) основных информационных массивов за счет откорректированных исходных текстов;

— корректировка (внесение изменений, дополнений) основных информационных массивов;

— ввод в систему форматов пользователя;

— ввод и трансляция запросов, поиск требуемых данных и выдача результатов.

Очередность использования модулей, т. е. выполнения отдельных работ, произвольна и не зависит от объема работ.

Модульный принцип построения системы позволяет, с одной стороны, использовать ее уже на ранних стадиях разработки, а с другой — допускает ее непрерывное развитие как за счет пополнения новыми модулями, так и за счет постоянного совершенствования и модификации действующих.

Рассматриваемая система осуществляет помассивную информационную обработку геологических данных. Под массивом понимается однородное множество унифицированных документов, содержащих геологические данные определенной тематической направленности. При этом ни форма документа, ни перечень содержащихся в нем характеристик не вызывают необходимости перестройки математического обеспечения для выполнения всех функций системы. Понятие документ рассматривается как определенная совокупность переменных величин, характеристик, описывающих некоторую геологическую реальность. Для формирования машинной структуры документа и структуры массива документов системе предъявляется описание переменных величин документа, в котором приводится наименование (идентификатор) переменной, ее тип (табл. 1), формат, структурные связи с другими характеристиками, регламент доступа к характеристике и другие реквизиты. Такая процедура генерации машинного описания документов вводится один раз для каждого массива. Она обеспечивает формирование машинной структуры документа, т. е. построение орографа фактов и понятий и записи его в виде линейного скобочного выражения. Табл. 2 иллюстрирует результат работы такой процедуры.

Допускается сложная структура переменной величины, представленная множеством характеристик или таблицей типа «объект — свойства», «свойство — свойства». Каждый элемент такой переменной может выступать в качестве объекта поиска системы.

Характеристика данных „Тип“

№ типа	Наименование типа	Внутреннее представление на основной магнитной ленте в упакованном виде	Разрешение операции запроса
1	Целое число	5 символов	$\gg \ll = \neq$
2	Число вещей	То же	"
4	Дата	" "	$\gg \ll = \neq$
3	Слово	N символов	$= \neq \equiv$
5	Слово из словаря	5 символов	$= \neq \equiv$
12	Текст	N слоев	нет
8	Угол (в градусах)	5 символов	$\gg \ll = \neq$
9	Угол (радиан)	То же	"
15	Геологический возраст	" "	$\gg \ll = \neq \equiv$
16	Масштаб	" "	"
5	Время	" "	"

7, 10, 11, 13 — резерв

Примечания 1. Количество типов может быть увеличено до 15. При настройке системы пользователь выбирает необходимые типы.

2. Тожество для характеристики типа «слово» означает полное совпадение, тогда как равенство позволяет пользоваться совпадением до точки (сокращение). Так, слова «метр» и «м» считаются равными, но не тождественно равными.

3. Тожество для характеристики типа «дата» и «время» означает полное совпадение дат (времени), тогда как равенство предусматривает обычно принятое совпадение. Так, даты 1.4.1974 и 1974 считаются равными, но не тождественными.

4. Тожество для характеристик 5,15 означает выбор только одной величины из структуры типа «дерево». Равенство предусматривает перебор всех вершин, связанных с заданной. Так, по требованию запроса выдать породы возраста J при условии равенства будут выданы породы с возрастом, зафиксированным как $J, J_1, J_2, J_{3cl}, J_{2bt}, J_{2bj}$ и т. д., тогда как при условии тождественности — только J.

Вместе с тем, объектом поиска может быть и сам документ, значения требуемого множества переменных которого удовлетворяют логике запроса.

Подобный подход к рассмотрению унифицированного носителя информации позволил создать автоматизированную ИПС, удовлетворяющую практически всем требованиям, предъявляемым к системе.

Обслуживающая пользователя часть системы базируется на формальном информационно-поисковом языке. Согласно синтаксису языка, определенному в Бэкусовской нормальной форме, и его семантике каждый запрос формулируется в виде:

$$N_1 : Q_1 : N_2 : Q_2 : \dots,$$

где N_1 — имя массива документов; Q_1 — условное логическое выражение, состоящее из операндов и знаков операции конъюнкции и дизъюнкции; операнды в свою очередь представлены последовательностью: наименование или идентификатор переменной, знак операции ($=, \neq, >, \gg, <, \ll, \equiv$); константа;

Структура входного документа, сформированная модулем „Структура“
Структура документа скважины

№ п/п	Доступ	Шифр вида	Шифр типа	Адрес	Индекс	Тип	Вид	Единица измерения	Наименование
1				37	1.0				
2		0	3	0	2	Слово	Точка		
3		0	3	1	3	Слово	Точка		
4		0	12	2	4	Текст	Точка		Планшетная привязка
5				40	5.0				Адм.-геогр. привязка
6				43	6.0				
7		0	3	6	7	Слово	Точка		Геоморфол. положение
8		0	2	14	8	F-число	Точка		Абс. отметка устья
9				45	9.0				Номер скважины
10		0	4	15	10	Дата	Точка		Год бурения
11				47	11.0				Организация
12				50	12.0				Геофизические работы
13				53	13.0				Цель и использование скважины
14		0	12	16	14	Текст	Точка		Способ бурения
15		0	3	26	15	Слово	Точка		Способ отбора проб
16				55	16.0				Конструкция скважины
17				57	17.0				Фильтр
18				60	18.0				Водоносный горизонт
19				62	19.0				Данные откачек
20		0	2	32	20	F-число	Точка	м/сут	Коэффициент
21		0	2	33	21	F-число	Точка	м/сут	км
22		0	2	34	22	F-число	Точка	м/сут	Расход (Q)
23		0	12	35	23	Текст	Точка		Формула расчетного коэффициента
24		0	12	37	24	Текст	Точка		Сведения об эксплуатации
25				64	25.0				Физические свойства воды
26				69	26.0				Жесткость воды
27				71	27.0				Сведения об анализах
28				76	28.0				Результаты химического анализа
29		0	12	47	29	Текст	Точка		Формула Курлова
30		0	12	63	30	Текст	Точка		Санитарная характеристика скважины
31		0	12	83	31	Текст	Точка		Обобщение разреза скважины
32		0	12	153	32	Текст	Точка		Дополнительные данные
33		0	12	173	33	Текст	Точка		Литературные источники
34		0	12	203	34	Текст	Точка		Организация
35		0	4	223	35	Дата	Точка		Дата заполнения
36		0	3	224	36	Слово	Точка		Составитель
37		0	1	234	1.1	Целое число	Точка		Номер карты
38		0	3	235	1.2	Слово	Точка		
39		0	1	236	1.3	Целое число	Точка		Номер картотеки
40		0	3	237	5.1	Слово	Точка		Область
41		0	3	241	5.2	Слово	Точка		Район
42		0	3	245	5.3	Слово	Точка		Населенный пункт
43		0	3	249	6.1	Слово	Точка		Регион
44		0	3	257	6.2	Слово	Точка		М-ние подземных вод
45		0	1	261	9.1	Целое число	Точка		Первичный
46		0	1	262	9.2	Целое число	Точ а		Кадастровый
47		0	1	263	11.1	Слово	Точка		Трест
48		0	3	268	11.2	Слово	Точка		Экспедиция
49		0	3	274	11.3	Слово	Точка		Партия
50		0	3	280	12.1	Слово	Точка		Организация
51		0	3	300	12.2	Слово	Точка		Вид работ
52		1	2	310	12.3	F-число	Интервал	м	Интервал
53		0	3	312	13.1	Слово	Точка		Цель
54		0	3	322	13.2	Слово	Точка		Использование
55		1	1	334	16.1	Целое число	Интервал	мм	Диаметр обсадной трубы
56		1	2	336	16.2	F-число	Интервал	м	Интервал
57		0	3	338	17.1	Слово	Точка		Тип
58		0	1	343	17.2	Целое число	Точка	мм	Диаметр рабочей части
59		1	2	344	17.3	F-число	Интервал	м	Интервал
60		0	12	346	18.1	Текст	Точка		Возрастной индекс
61		0	3	349	18.2	Слово	Точка		Литология
62				79	19.1.0				
63				89	19.2.0				
64		0	3	357	25.1	Слово	Точка		Цвет
65		0	3	361	25.2	Слово	Точка		Прозрачность

N_2 — ключевое слово обмена; Q_2 — условное логическое выражение о перечне объектов обмена (выдачи).

Например, пусть имеется массив документов, содержащих результаты опробования пород «Пробы» и пусть содержащаяся в документах информация представлена признаками (переменными):

Идентификатор	Наименование переменной
.1	Административная привязка
.1.2	Республика
.1.3	Область
.1.4	Район
.2	Цвет породы
.3	Глубина отбора пробы

Таблица 3

Ответ системы на запрос по массиву данных о месторождениях строительных материалов

Строй: .5 (пес.), .6.1 (-сумск.): котор: .4, .5, .16, .20, .29.

Документ 7

1	Наименование месторождения	Некрасовское
2	Полезное ископаемое	Песок для известково-песчаных блоков
3	Потребитель	
4	Состав пород залежи	Пески
5	Геологический район	ДДВ

Документ 23

1	Наименование месторождения	Лужковское
2	Полезное ископаемое	Песок для известково-песчаных блоков
3	Потребитель	Колхозы для строительных целей
4	Состав пород залежи	Пески кварцевые
5	Геологический район	ДДВ

Документ 24

1	Наименование месторождения	Шечковское
2	Полезное ископаемое	Пески для силикатного кирпича
3	Потребитель	
4	Состав пород залежи	Пески охристые
5	Геологический район	ДДВ

Массив строй: Просмотрено—24
из них удовлетворяют логике запроса—3

Ответ системы на запрос по массиву сведений о нефтяных скважинах
Скв.н.3 (-развед.),5.1 (-МГ УССР): котор:2,2,,3,,2.1,,30.

Документ 7

1	Скважины	21
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Игнатовская Новониколаев,
4	Адм. положение	Полтавская, Новосенжарский, с. Соколова Балка
5	Организация	Трест ПНГР

Документ 10

1	Скважины	13
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Игнатовская Новониколаев
4	Адм. положение	Полтавская, Новосенжарская, с. Соколова Балка
5	Организация	Трест ПНГР

Документ 11

1	Скважины	16
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Игнатовская Новониколаев
4	Адм. положение	Полтавская, Новосенжарская, с. Соколова Балка
5	Организация	Трест ПНГР

Документ 12

1	Скважины	14
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Игнатовская Новониколаев
4	Адм. положение	Полтавская, Новосенжарский с. Соколова Балка
5	Организация	Трест ПНГР

Документ 15

1	Скважины	118
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Глинско-Розбишевская
4	Адм. положение	Полтавская, Лохвицкий, с. По- гарщина
5	Организация	Трест „Полтаванефтег“.

Документ 17

1	Скважины	9
2	Категория	Разведочная
3	Площадь	Игнатовская Новониколаев
4	Адм. положение	Полтавская, Новосенжарский, с. Соколова Балка
5	Организация	Трест ПНГР

Массив скв. н.: просмотрено объектов — 17
из них удовлетворяют логике запроса — 6

Требуется отыскать, на каких глубинах встречены породы серого, зеленого и красного цветов, отобранные в заданном интервале глубин и в определенном районе. Тогда вопрос системы может быть сформулирован следующим образом ($N_1:Q_1:N_2:Q_2$):

Пробы: республика-УССР, цвет породы-(серый, зеленый, красный), глубина отбора пробы ($\geq 100, \leq 1000$): N_2 : глубина отбора проб. Здесь общая структура первого условного логического выражения Q_1 имеет вид:

$$C_1 \wedge C_2 \wedge C_3.$$

Равносильной и предпочтительнее с точки зрения краткости записи и скорости трансляции является запись переменной с помощью идентификаторов. Тот же запрос имеет вид:

Пробы: .1.2(УССР), .2(сер., зел., крас.), .3($\geq 100, \leq 1000$) N_2 .3.

Непосредственно трансляция запроса проходит в два этапа. На первом этапе производится лексический анализ выражения, операнды преобразуются в условные двухадресные команды, логическое выражение переводится в обратную постфиксную запись [2]. Второй этап включает организацию последовательного поступления документов в систему, интерпретацию условных двухадресных команд, просмотр постфиксной строки и присвоение условному выражению Q_1 значения «ложь» или «истина». Если документ удовлетворяет логике запроса (Q_1 -истина), то он поступает в блок обмена, в противном случае пропускается. Блок обмена выделяет в документе объекты, указанные в условном выражении Q_2 и преобразованные по форматам пользователя или системы (ключевое слово обмена N_2), поступают на предоставленное резидентом системы устройство. На табл. 3 и 4 показаны примеры выдачи результатов по ключевому слову обмена «которые» (формат системы) заказа на поиск данных.

Техническое обеспечение системы базируется на основном комплекте ЭВМ «Минск-32» [3]. Для работы системы необходим процессор с оперативной памятью в 128 килобайт, устройство ввода с 80-колонных перфокарт, устройство печати и два накопителя на магнитных лентах. Для подключения к системе дополнительных внешних устройств (графопостроители, периферийные телетайпы и т. д.) необходимо внести их описания в таблицы резидента.

ABSTRACT

The paper deals with a system of collection, storage and search of information of geological nature realized by a computer. The system allows to employ paper — forms now in use. Mathematical processing is based on a Modulus principle. Basic Module, syntax and semantics of the system language are presented. The main information carrier is a magnetic tape. Examples of descriptions, user's requirements, system answers fed into the system are given.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берзтисс А. Т. Структура данных. М., «Статистика», 1974. 307 с.
2. Болъе Л. Методы построения компиляторов.— В кн.: Языки программирования. М., «Мир», 1972. 406 с.
3. Кушнеров М. Т., Неменман М. Е., Цагельский В. И. Программирование для ЭВМ «Минск-32». М., «Статистика», 1973. 121 с.
4. Мидоу Ч. Анализ информационно-поисковых систем. М., «Мир», 1970. 368 с.
5. Тарасова Н. А., Боз М. Н. Фактографические информационно-поисковые системы на ЭЦВМ (Аналитический обзор). М., Изд-во АН СССР, Центр. экономико-мат. ин-т, 1970. 190 с.
6. Форстер Дж. Обработка списков. М., «Мир», 1974. 201 с.

УДК 550.8 : 002.6

Г. С. Рыжков, Е. В. Кучерук

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИПС ПО ГЕОФИЗИКЕ И ГЕОХИМИИ «ДЕСЛОВ» КАК ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ВОПРОСА СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ ДЕСКРИПТОРНОГО ТИПА

Создаваемая в СССР общегосударственная система научно-технической информации базируется на сети ИПС (информационно-поисковых систем) различного масштаба (общегосударственных, отраслевых, специализированных, территориальных), за каждой из которых закреплены определенные функции и тематические направления. Отраслевая подсистема ИПС в геологии также базируется на разделении функций и тематики отдельных ИПС. Очевидно, такое разделение повышает экономичность информационного обслуживания и обеспечивает необходимую полноту информации. Одновременно на первый план выдвигается проблема совместимости информационно-поисковых систем.

Задача обеспечения совместимости ИПС распадается на ряд подзадач (совместимость информационно-поисковых языков, ЭВМ, языков программирования, машинных носителей информации и др.), каждая из которых имеет свои специфические способы решения.

Представляется очевидным, что наибольшую практическую ценность представляет такая степень совместимости ИПС, которая позволяет: 1) производить обмен массивами документов и отдельными документами на машинных носителях; 2) проводить поиск по одному и тому же запросу в различных ИПС.

Ниже описывается информационно-поисковая система «Деслов», которая обеспечивает указанную степень совместимости по отношению к другим ИПС подобного типа вне зависимости от конкретного использованного дескрипторного словаря. Программное обеспечение имеется в настоящее время для ЭВМ типа БЭСМ-4 (БЭСМ-3М, М-20, М-220М, М-222).

Возможность использования различных дескрипторных словарей или их комбинации обеспечивается специально разработанной схемой функционирования ИПС. Напомним, что обычно дескрипторные ИПС функционируют по схеме:

«запрос→дескрипторы: дескрипторы←документ» (знаками «→» и «←» обозначены процессы индексирования запроса и документа соответственно, знак «:» обозначает сопоставление поисковых образцов запроса и документа). Разработанная схема имеет вид: «запрос→дескрипторы→слова: слова←документ».

Основные отличия ее от обычной состоят в способе индексирования как документа, так и запроса.

Индексирования документов дескрипторами не производится (см. правую часть схемы). Вместо этого из текста документа выбираются значащие словоформы — существительные, прилагательные, причастия (вопрос о поисковой ценности глаголов, деепричастий, наречий считаем открытым). Выбранные словоформы приводятся к единой грамматической форме (единственное число и именительный падеж, прилагательные и причастия дополнительно преобразуются в форму мужского рода). Полученный список слов считается поисковым образом документа.

Дескрипторный словарь используется только при индексировании запроса (см. левую часть схемы). На первой стадии запрос индексируется дескрипторами и представляется в виде поискового предписания с логическими отношениями «и», «и/или», «не».

С учетом связей, отраженных в словаре, каждый дескриптор предписания может дополняться вышестоящими, нижестоящими и ассоциативно связанными с ним дескрипторами. Затем дополненное поисковое предписание преобразуется в форму, аналогичную форме ПОДа (поискового образа документов). Для этого дескрипторы заменяются на их лексические формы, с учетом синонимии (по словарю), а лексические формы разбиваются на отдельные слова. Как в случае документов, слова приводятся к единой грамматической форме. В результате описанного преобразования каждый дескриптор первоначального поискового предписания заменяется списком слов; списки могут находиться между собой в логических отношениях «и», «и/или», «не». Каждому слову списка приписывается весовой коэффициент, в зависимости от того, насколько важным для конкретного запроса представляется индексактору данное слово (весовые коэффициенты всех слов могут быть равными).

С учетом рассмотренных особенностей индексирования составлен алгоритм информационного поиска «Деслов» и написана соответствующая программа в кодах команд ЭВМ типа БЭСМ-4. Программа является частью математического обеспечения комплексной информационно-поисковой системы КИПС-Гео.

Критерий смыслового соответствия ИПС «Деслов» включает в себя три элемента: 1) логическое соответствие документа и запроса; 2) количественный показатель соответствия документа и запроса; 3) пороговый уровень показателя соответствия.

Опробование системы в экспериментальном режиме производилось на массиве из 560 документов (рефераты из различных реферативных журналов ВИНТИ), охватывающем вопросы ядерной геофизики и гидрогеохимии нефтяных и газовых месторождений. Задачей опробования было определение основных формальных поисковых характеристик (полноты и точности выдачи) при неоднократном уточнении запроса по результатам промежуточных выдач. В эксплуатационном режиме таким условиям приблизительно соответствует обслуживание по постоянным запросам при наличии качественной обратной связи с потребителем.

В таблице приведены результаты поиска по 20 контрольным запросам, полученные при различных пороговых значениях нормированного показателя соответствия документа и запроса.

Полнота и точность поиска в зависимости от порогового уровня показателя соответствия (число запросов — 20, сумма релевантных документов по 20 запросам — 144)

Порог	Выдано документов	Выдано релевантных документов	Полнота, %	Точность, %	Полнота+точность, %
0,9	29	29	20	100	120
0,8	41	41	29	100	129
0,7	66	62	43	94	137
0,6	87	82	57	94	151
0,5	114	103	71	90	161
0,4	147	123	85	84	169
0,3	180	139	97	77	174
0,2	207	144	100	69	169
0,1	224	144	100	64	164
0	238	144	100	60,5	160,5

Как видно из таблицы, в экспериментальном режиме достигается как 100-процентная полнота, так и 100-процентная точность выдачи, а суммарный показатель полнота+точность при оптимальных пороговых уровнях (0,4—0,2) весьма высок. Это позволяет надеяться на высокое качество поиска по постоянно действующим запросам в эксплуатационном режиме, которое будет зависеть от качества обратной связи и квалификации индексатора запросов. При поиске по разовым запросам, по предварительным оценкам, значения показателя полнота+точность составят 150—165%.

Резюмируя приведенное выше описание ИПС «Деслов», укажем на ряд характерных особенностей, отличающих ее от тради-

ционных ИПС дескрипторного типа. Некоторые отличия являются следствием используемой схемы функционирования и алгоритма поиска, другие установлены в процессе опробования системы.

1. Формальный характер и однозначность результатов индексирования документа.
2. Концентрация неформальной, творческой работы на одном участке функциональной схемы ИПС-индексирования запроса.
3. Возможность использования различных дескрипторных словарей и их комбинаций, а также «микрословарей», составляемых для конкретного запроса.
4. Регулирование полноты и точности выдачи в широких пределах; получение в необходимых случаях 100-процентной полноты.

Перечисленные особенности системы «Деслов» обеспечивают ей ряд преимуществ по сравнению с традиционными дескрипторными ИПС.

Наиболее важным преимуществом следует считать совместимость ИПС типа «Деслов». Независимо от функциональных и тематических особенностей ИПС, используемого дескрипторного словаря, а также от квалификации и субъективности индексатора, поисковые образцы документов представляются в одной и той же форме и пригодны для ввода в любую другую систему подобного типа. Это делает реальным обмен информационными массивами или ПОДаи и на этой основе — устранение дублирования и разделение работ по подготовке ПОДов. Формальный характер процедуры обработки документов в системе типа «Деслов» делает возможным автоматизацию этой процедуры; возможно, наиболее оптимальным вариантом является централизованная подготовка ПОДов информационным органом, располагающим мощными ЭВМ.

Указанные преимущества, являющиеся следствием неизменности ПОДов и формального характера их подготовки, позволяют считать, что алгоритмы типа «Деслов» могут занять важное место в интегральных системах информации, являющихся очередной ступенью развития общегосударственной системы научно-технической информации в СССР [2].

Исключение факторов субъективности и квалификации индексаторов позволяет избегать ошибок индексирования документов, которые, как известно, являются одной из основных причин потерь информации и информационного шума ИПС.

Дескрипторный словарь для ИПС «Деслов» может создаваться постепенно, по мере накопления массива запросов и документов; до создания собственного словаря могут использоваться ранее созданные словари близкой тематики. Учитывая, что разработка дескрипторного словаря является длительным процессом, это означает ускорение ввода ИПС в эксплуатацию на несколько лет. В процессе эксплуатации в дескрипторный словарь могут вноситься любые дополнения и изменения, так как переиндексирования документов при этом не требуется.

Преимущества ИПС типа «Деслов» наиболее ясно проявляются в следующих условиях:

1) когда эксплуатируемая информационно-поисковая система входит в комплекс ИПС, между которыми предусмотрен обмен информационными массивами и запросами;

2) когда основным режимом работы ИПС является поиск документов по постоянно действующим запросам;

3) при необходимости скорейшего ввода ИПС в эксплуатацию, не связываемого с наличием или состоянием разработки собственного дескрипторного словаря;

4) при наличии квалифицированного специалиста для подготовки и анализа запросов;

5) при необходимости обеспечения высокой полноты поиска (например, при анализе новизны исследований).

Известно, что существует много подходов к разработке систем информационного обслуживания, имеющих международный характер, в частности, имеется разработка многоязычных дескрипторных словарей [1, 3]. Учитывая весьма сложный и трудоемкий характер таких работ, широкое практическое использование их результатов в ближайшие годы не представляется возможным. Нам хотелось бы указать на преимущества другого подхода, который может быть реализован до создания многоязычных тезаурусов. Информационно-поисковые системы по геологии, созданные или создаваемые в СССР, в состоянии обеспечить качественный поиск по постоянно действующим запросам достаточно узкого характера; круг таких запросов будет постоянно расширяться в ходе эксплуатации ИПС. Перечни постоянных запросов, действующих в той или иной системе, могут быть переведены на иностранные языки при незначительных затратах труда (по сравнению с составлением эквивалентных дескрипторных словарей на нескольких языках). После того как выяснен круг заинтересованных лиц и организаций, с помощью ЭВМ периодически составляются и рассылаются потребителям списки документов по каждому запросу. Каждый документ должен содержать адрес соответствующей вторичной публикации в основных реферативных журналах геологического содержания, имеющих международное распространение (РЖ ВИНТИ «Геология»; Bull. Sign., sec. 10, 11; Abstracts North Amer. Geology). Предлагаемая форма международного обмена информационными услугами представляется весьма экономичной и имеет под собой реальную базу в виде автоматизированных ИПС дескрипторного типа.

ABSTRACT

Document retrieval system «DESLOV» provides the possibility of document files exchange between different information retrieval systems of this type and gives the possibility of use of every one

and (or) several descriptor dictionaries for request indexing. The operational scheme of the system is based on presentation of document search patterns in the form of natural language words and conversion of requests search patterns into associative lists of words by using the descriptor dictionary. The «DESLOV» system is a part of the integrated information system «Geo», which uses the computer BESM—4 (M—222). The «DESLOV» system has been tested on the base of experimental document file on nuclear geophysics and geochemistry (560 documents).

It is shown that by changing (from the computer board) the threshold level of the index of document and request similarity, it is possible to regulate the recall and relevance of information (recall from 20 to 100%, relevance from 100 to 60,5%). The optimal threshold level provides for 85—100 percent recall and 84—69 percent relevance.

«DESLOV» allows to compile a descriptor dictionary in the process of operating of the information retrieval system and to refine it permanently without changing document search patterns.

One of the possible forms of the international information exchange is proposed which doesn't need the development of multilingual thesaurus.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая система информационно-поисковых языков в международной системе научной и технической информации. Междунар. симпозиум, Москва 10—12 сентября 1974 г. Программа в рефераты докладов МЦНТИ, М., 1974. 44 с.
2. Черный А. И. Интегральные информационные системы.— В кн.: «Проблемы информатики. МФД 478.», М., ВИНТИ, 1973, с. 196—240.
3. Towards an international thesaurus for geology.— „Earth-Sci. Review“, 1970, vol. 6, N 6, p. A247—A250.

УДК 550.8 : 002.6

А. А. Ситнин, Ю. В. Попов

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СБОРА, ОБРАБОТКИ, СВЕРТЫВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБЗОРНОЙ И РЕФЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Основной целью работ по сбору, обработке, свертыванию и распространению обзорной и реферативной информации является удовлетворение информационных потребностей специалистов. Изучение и знание этих потребностей необходимо для создания дифференцированного и полного потока информационных материалов.

Несмотря на значительное количество опубликованных работ, четкого определения самого понятия «информационная по-

требность» до сих пор не предложено. Различные авторы выделяют от двух до пяти-семи типов информационных потребностей, предлагая самые разнообразные обоснования для их выделения (Э. С. Беренштейн, Э. Б. Рудник и др.; А. И. Михайлов, А. И. Черный, Р. С. Гиляровский; В. Санд; А. Н. Лях; А. Высоцкий и др.). Ю. С. Ракинов различает абсолютную и относительную информационную потребность, некоторые авторы выделяют объективную и субъективную, пассивную и выраженную информационные потребности и т. д. Различают также информационные потребности различных групп специалистов: организаторов, исследователей, инженеров и др.

Многообразие и сложность факторов, влияющих на информационные потребности, вызывают необходимость совершенствования методов определения последних. В настоящее время выделяют прямые (анкетирование, интервьюирование, опросы, наблюдения) и косвенные (анализ циркуляции библиотечных материалов по формулярам абонентов, изучение ссылок в отчетах о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, изучение библиографических запросов, библиографических справок, пристатейной библиографии и др.) методы определения информационных потребностей.

Некоторые авторы (А. А. Васильева, Б. В. Кристальный, Т. Я. Новикова, О. П. Орлик) полагают, что лучше всех об интересующих их проблемах и вопросах осведомлены сами потребители информации, поэтому, по мнению этих авторов, исследования информационных потребностей должны базироваться на методах, в основе которых лежит изучение субъективных потребностей специалистов.

Однако нам представляется, что основным в вопросах сбора, обработки и свертывания документов является определение объективных потребностей в информации, представляющей интерес для отрасли в целом.

Следует учитывать, что создающиеся информационными органами обзоры и рефераты являются самой широкой и «безадресной» формой справочно-информационного обслуживания и должны играть роль своего рода рекомендательной информации. Известно, что одна из главнейших задач информационных органов, занимающихся подготовкой и изданием обзорной и реферативной информации — ориентирование специалистов отрасли на решение узловых, наиболее важных проблем. Информационным изданиям отводится большая роль как эффективному средству пропаганды передового опыта и новейших разработок, позволяющему получить правильное представление о состоянии работ в отрасли и способствующему принятию правильных решений (о внедрении современных разработок, развитии и совершенствовании производства, повышении качества и экономической эффективности геологоразведочных работ).

При этом должно соблюдаться главное условие — обеспечение своевременного распространения информационных материалов в отрасли. Для этого сотрудники информационных центров должны осуществлять постоянную систематизацию и научный анализ первичных и вторичных информационных материалов по проблемам, изучать тенденции развития научных исследований, производить учет этапности, частей и частных технических решений научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных разработок. При этом должны использоваться материалы, публикуемые в периодических и непериодических изданиях, неопубликованные материалы в виде отчетов или их рефератов, поступающих в справочно-информационный фонд отрасли, ознакомление с выпусками РЖ «Геология» ВИНТИ, материалы об основных научно-технических достижениях в отрасли, подготавливаемые для руководящих работников головными научно-исследовательскими институтами, а также материалы межотраслевой информации.

В процессе сбора и анализа отечественных и зарубежных материалов о научно-технических достижениях и при отборе наиболее актуальных и важных из них основное внимание должно уделяться работам: 1) о новых более эффективных и экономичных методах поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых; 2) о новой и усовершенствованной технике и технологии производства геологоразведочных работ; 3) работам, пропагандирующим передовую организацию труда и управления.

Второй главной задачей информационной службы является улучшение формы, структуры и содержания информационных изданий. Как с точки зрения современной технологии, так и для целей механизации и автоматизации обработки информации в будущем большое значение имеет стандартизация формы информационных изданий. Основой информации об исследованиях и разработках является реферат с изложением основных результатов исследований (перечнем освещенных в работе вопросов), дающий читателю четкое представление о работе. При составлении реферата необходимо установить правильное, рациональное соотношение между реферлируемой работой и рефератом, учитывая его назначение. Повышение информативности изданий, видимо, должны идти несколькими путями, одним из которых может быть дифференциация, т. е. повышение релевантности информационных изданий, максимального приближения освещаемых вопросов к интересам потребителей. Для каждого вида информации, как и для каждой категории потребителей, необходимо разрабатывать свою целесообразную степень свертываемости, свой максимум информативности, который позволил бы сохранить доходчивость и ясность сообщаемых сведений при минимуме занимаемого объема.

Совершенствование информационно-издательской деятельно-

сти постоянно требует сокращения объемов и стандартизации структуры всех видов информационных изданий. Требования сводятся к сохранению основных принципов построения информационных изданий; единой направленности раскрытия содержания от общего к частному, от широкой тематики к более узкой и раскрытию темы на нескольких последовательно уточняющих один другой уровнях (в соответствующих структурных элементах тематики).

Информационные сведения должны быть обеспечены развитым справочным аппаратом, позволяющим потребителю полнее использовать их и находить раздел по любому из предлагаемых поисковых признаков (предмет, автор, ключевые слова и т. д.). Материал в справочном аппарате должен быть изложен так, чтобы можно было судить об описываемом факте, результатах исследований или анализе данных без привлечения дополнительных источников.

На современном этапе развития информационной деятельности, когда важное значение приобретают автоматизированные методы сбора, хранения, поиска и выдачи информации, все обзоры и рефераты должны сопровождаться списками ключевых слов. Подобная смысловая обработка текстов, проводящаяся самими авторами, позволит повысить качество свертывания и оперативность введения сведений о информационных изданиях в ИПС, а следовательно, будет способствовать оперативности доведения информации до потребителей.

За время работы отраслевых информационных органов уже сложились определенные методы обработки информационных материалов. Как показывает опыт, при обработке, свертывании и распространении информации особенно важна роль информатора-редактора, который обеспечивает:

- предварительный заказ на подготовку и написание обзоров ведущим специалистам по той или иной проблеме;
- отбор из всего информационного потока материалов для тематических выпусков экспресс-информаций по заранее поставленным темам;
- компоновку выпусков реферативной и обзорной информации по узко специализированным вопросам;
- совершенствование методов обработки и стандартизации основных видов информационных изданий и разработки наиболее эффективных приемов свертывания информации.

Роль информатора-редактора сводится не только к определению актуальности тематики, оценке и повышению информативности материалов (сокращение объемов, акцентировка внимания на новом и т. д.). Не менее важным моментом в деятельности информатора-редактора является участие в выявлении потребности ведущих специалистов и руководителей в геологической отрасли в различных видах информации, а также участие в проведении анкетирования и интервьюирования специалистов

отрасли. При организации анкетирования необходимым условием является охват наиболее широкого круга производственных, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, а также отдельных специалистов. Главным условием интервьюирования является опрос, в первую очередь, ведущих специалистов, работающих над решением узловых проблем отрасли, разработка которых способна оказать влияние на повышение экономической эффективности геологоразведочных работ.

Получаемые в результате этой работы материалы способствуют совершенствованию системы дифференцированного распространения информации применительно к потребностям соответствующих категорий специалистов, а также удовлетворению информацией работников различной квалификации.

ABSTRACT

An objective approach considering the interests of the geological branch as a whole is recommended as the main principle in determination of the information needs in the process of collection, treatment, conversion and distribution of information in abstracts and survey information. A recommendatory character of these kinds of information and their important role in the orientation of specialists to solving the main problems as well as in propaganda and distribution of progressive methods and innovations and the newest developments is noted. The problems of improving the form, structure and content of information periodicals are considered. The special role of an informant — editor in all the stages of collecting, treatment, conversion of documents and preparation for the edition of survey information is underlined.

УДК 550.8 : 002.6

О. Б. Солдатов

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ФАКТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Работы по созданию автоматизированных систем обработки геолого-геофизической информации выдвигают на первый план вопросы построения ФАИПС, сочетающих максимальные возможности их эффективной и продолжительной эксплуатации с экономической и технической доступностью их реализации. Решение этих вопросов следует начинать, очевидно, с формулирования достаточно полного перечня требований, предъявляемых к составу и структуре ФАИПС, определения основных принципов построения ФАИПС, позволяющих удовлетворить выдвинутые требования.

Возможность максимально эффективной и продолжительной эксплуатации ФАИПС предполагает выполнение по крайней мере трех условий. Во-первых, информационное обеспечение всех геолого-геофизических задач, решаемых в пределах обслуживаемого региона, должно быть сведено в единую ФАИПС [1]. Нарушение этого условия, т. е. создание локальных ФАИПС, каждая из которых обеспечивает решение только ограниченного по тематике круга задач, неизбежно приводит к дублированию значительных объемов информации и, как следствие, к повышению удельных экономических затрат на информационное обеспечение каждой задачи.

Во-вторых, ФАИПС должна обеспечивать автоматизированное решение не только задач, формализованных к настоящему времени, но и задач, формализация которых возможна в будущем [3]. Поскольку не существует доказанных ограничений на возможности формализации геолого-геодезических задач, то ФАИПС должна обеспечивать решение в перспективе любой такой задачи. Нарушение этого условия неминуемо приведет к тому, что ФАИПС не сможет выполнять функции единой информационной базы уже с момента своего создания, а вскоре после этого и полностью потеряет практическую ценность.

В-третьих, весьма желательной является возможность использовать ФАИПС не только в качестве информационной базы автоматизированных вычислительных систем обработки данных, но и в качестве справочного фонда для геологов, решающих различные научно-производственные задачи традиционными методами.

Из перечисленных трех условий максимально эффективной и долговременной эксплуатации ФАИПС непосредственно вытекает первое и основное требование: *система должна включать в себя все имеющиеся данные о геологическом строении обслуживаемого региона*. Сказанное не предполагает необходимости закладывать в систему все имеющиеся данные уже к моменту ввода ее в эксплуатацию. Имеется лишь в виду, что структура системы должна позволять включение в нее любых новых видов геолого-геофизической информации и установление ее связи с уже имеющейся в системе информацией без каких-либо корректировок последней и без нарушения целостности системы.

Известно, что первичные данные, получаемые как непосредственный результат наблюдений над геологическими объектами или измерений их физических и химических характеристик, сами по себе не создают цельных представлений о геологическом строении обслуживаемого региона. Такие представления возникают только в результате обобщения и интерпретации первичных данных. Формализация процессов обобщения и геологической интерпретации к настоящему времени практически не развита, что не позволяет реализовать большинство из них в автоматизированных системах обработки данных. Реализация в

таких системах формализованных интерпретационных процессов часто оказывается весьма дорогостоящей. В то же время использование результатов интерпретации в качестве исходных данных совершенно необходимо при решении большинства научно-производственных задач. Вторым требованием к ФАИПС является *необходимость хранения в ней как первичных данных, так и результатов их геологической интерпретации*. Поэтому нельзя согласиться с мнением о достаточности включения в ФАИПС только данных первичных наблюдений [4].

Необходимость хранения в ФАИПС результатов геологической интерпретации, полученных традиционными методами, влечет за собой проблему субъективности этих результатов. Геологическое строение одних и тех же природных объектов на основании одних и тех же первичных данных различными исследователями может интерпретироваться неоднозначно. Решать проблему субъективности можно путем сведения мнений различных исследователей к единому мнению. Однако такой путь нежелателен, так как он требует значительных затрат средств и времени на создание единой геологической легенды и единой классификации геологических объектов и геологических понятий, а также на проведение больших объемов экспертных работ. Оправданность же этих затрат крайне сомнительна. Итоги экспертных работ неизбежно сохраняют элементы субъективизма, ведут к потере информации и с течением времени обесцениваются в результате закономерной смены представлений, лежащих в основе единых геологических легенд и классификаций.

По-видимому, более рационально оставлять пользователям ФАИПС возможность самим определять, какие геологические интерпретации наиболее обоснованы, соответствуют современному уровню развития геологических теорий и согласуются с существом решаемой задачи. Для реализации такой возможности ФАИПС должна удовлетворять третьему требованию: *необходимо, чтобы структура системы позволяла хранить в ней различные описания одних и тех же природных объектов*.

Отказ от однозначной интерпретации всех элементов геологического строения обслуживаемого региона означает отказ от единой геологической легенды и единой классификации геологических объектов и ведет к необходимости принятия четвертого требования к ФАИПС: *объектами описания в системе должны являться те природные образования, которые выделяются непосредственными исполнителями геолого-геофизических исследований на территории обслуживаемого региона в соответствии с легендами и классификациями, принятыми этими исследователями*.

Могут возникнуть опасения, что принятие третьего и вытекающего из него четвертого требований исключает возможность какой-либо систематизации хранимой в ФАИПС информации и ведет к бесструктурности системы. Однако такие опасения не-

существенны, так как имеется достаточное количество общепринятых и стабильных геологических и технологических понятий, в рамках которых без труда удастся систематизировать понятия неустойчивые и локального пользования, на базе которых возможно построение ФАИПС с развитой структурой.

Разномасштабность природных геологических образований, многообразие применяемых в практике систем классификаций этих образований и наличие различных технологий сбора геолого-геофизических данных выдвигают пятое требование к ФАИПС: *система должна обеспечивать описание объектов, находящихся между собой как в отношении включения, так и в отношении пересечения*. При этом обязательно создание взаимной адресной связи между описаниями объектов, находящихся в любом из двух указанных типов отношения. Невыполнение данного требования приводит к распадению ФАИПС на ряд обособленных информационных массивов со всеми вытекающими из этого последствиями (дублирование больших объемов информации, ограниченные возможности автоматизации информационных процедур и т. д.).

Перечисленные пять требований к ФАИПС геологических данных приводят к необходимости создания системы, содержащей значительные объемы и различные виды информации. Требующиеся для этого экономические затраты складываются в основном из затрат на информационное наполнение системы и затрат на создание ее математического обеспечения. Минимизация затрат на наполнение системы уже предопределяется некоторыми из перечисленных требований. Для минимизации же затрат на создание математического обеспечения необходимо предъявить к ФАИПС еще одно, шестое требование: *отдельные структурные элементы системы должны строиться на унифицированной структурной и языковой основе* [2, 7].

Для удовлетворения перечисленных основных требований к содержанию и структуре ФАИПС геологических данных предлагается создание системы, построенной по иерархическому принципу. Основным структурным элементом такой системы является файл информации об однотипных объектах.* На одном иерархическом уровне располагаются файлы, описывающие такие объекты, которые могут рассматриваться только в отношении пересечения и не могут рассматриваться в отношении включения. Каждый файл может иметь в своем подчинении несколько файлов более низкого уровня иерархии и, в свою очередь, подчиняется одному из файлов более высокого уровня. Объекты, описываемые во взаимно связанных файлах, находятся в отношении включения, т. е. соотносятся как часть к целому.

* Под однотипными объектами понимаются такие объекты, к каждому из которых может быть отнесен один и тот же набор признаков.

Весьма важным моментом построения ФАИПС является определение принципа распределения геологической информации между файлами системы, т. е. определение такого перечня типов, описываемых в системе объектов, который позволял бы выполнять первые три требования к системе и в то же время обеспечивал бы возможность построения древовидной структуры. С указанных позиций не являются удовлетворительными ни чисто технологический, ни чисто геологический принципы распределения информации, на что уже было указано Г. Л. Гомбергом [3].

Опыт показывает, что единственным удовлетворительным решением является принятие смешанного подхода с предпочтением технологического принципа. Значение последнего особенно проявляется при определении типа объектов, которые должны описываться в головном файле системы. К этим объектам предъявляется особое требование: они должны связать в единую систему все файлы ФАИПС, что при наличии древовидной структуры означает необходимость принципиальной возможности рассматривать объекты всех файлов системы как части объектов головного файла. По-видимому, единственным способом выполнить это требование является принятие в качестве объектов описания в головном файле отчетных материалов о выполненных в регионе геологических исследованиях.

В данном файле должны содержаться сведения об авторах материалов, времени проведения исследований, территории исследований, видах выполненных работ.

В непосредственном подчинении головного файла рационально иметь три группы файлов, обеспечивающих разделение всей геологической информации по региону на следующие ее виды:

— информация, связанная с описанием пространственно протяженных объектов, выделяемых по естественным геологическим признакам (геологических тел);

— информация, связанная с описанием пространственно протяженных объектов, выделяемых по признаку экономической ценности (месторождений и рудопроявлений);

— информация, связанная с описанием результатов площадных поисков.

Соподчиненность файлов первой группы в принципе должна соответствовать последовательности все более детальных объектов описания: геологическое тело — точка наблюдения — образец горной породы (проба) — результаты различных видов исследований и анализов образца (пробы).

Объекты описания в файлах второй группы образуют последовательность: месторождение (рудопроявление) — горные выработки — сечения геологических тел по выработкам — проба.

Объектами описания в файлах третьей группы являются пункты площадных геофизических наблюдений и геохимического

опробования. Основная часть файлов этой группы непосредственно подчиняется головному файлу ФАИПС, так как объекты описания не образуют рядов соподчинения.

Особого рассмотрения требует вопрос о способах отображения в ФАИПС геологических объектов, имеющих пространственную протяженность в масштабе выполненных исследований. Суть вопроса заключается в необходимости хранить настолько детальные сведения о пространственном положении и форме объектов, чтобы имелась возможность составлять описание геологического строения произвольно выбранного участка пространства, без чего нельзя решать большинство геологических задач.

Включение в описание каждого геологического объекта детальных сведений о его пространственных границах не может являться приемлемым принципом решения поставленного вопроса, так как при этом возникает необходимость хранения чрезвычайно больших объемов информации, требующая использования сложных и дорогостоящих технических систем. Не приемлема и замена описаний геологических объектов описаниями ячеек достаточно малого и одинакового размера, на которые предварительно разбивается пространство (принцип телевидения [6]). В данном случае пропадает возможность оперировать однородными геологическими объектами и не достигается возможность описывать пространственные участки, границы которых не совпадают с ячейками квантования.

Наилучшим способом решения проблемы описания пространственно протяженных геологических объектов является организация двух соподчиненных файлов. Подчиняющий файл должен содержать геолого-геофизические характеристики объектов, а подчиненный файл — описания пространственного положения контуров всех объектов, получаемые путем сканирования границ объектов с геологических карт и разрезов. Такое разделение информации позволяет без потери детальности описаний сократить ее объем до величин, доступных накопителям, входящим в комплекты ЭВМ среднего класса.

Унификацию внутренней структуры и информационного языка файлов предлагается достигать следующим образом. Выделяются две информационные области файла, одна из которых предназначается для размещения характеристик с фиксированной при организации конкретного файла длиной, а вторая — для размещения характеристик произвольной длины. В качестве характеристик с фиксированной длиной могут выступать числа, коды и тексты. Каждый файл должен начинаться служебной областью, содержащей информационные параметры используемых в файле характеристик.

Файл с такой внутренней структурой позволяет хранить практически любую информацию, а математическое обеспечение

ФАИПС сводится почти полностью к задачам обслуживания одного унифицированного файла. Опыт подобных разработок в настоящее время уже имеется [7].

ABSTRACT

The main demands to the factorgraphic automatized information-search system of geological data are examined.

The aggregate of advanced demands comes to the necessity to include in the system of results all possible methods of geological investigations with due regard for different levels and polysemantic interpretation of these results.

The principles of construction the information-search system satisfying to all advanced demands are described.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белонин М. Д., Кноринг Л. Д. Принципы проектирования и организации единой общегосударственной системы информационного обслуживания и некоторые специальные вопросы разработки элементов ФАИПС по геологии нефти и газа.— В кн.: «Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геол.-разв. ин-та (ВНИГРИ)», вып. 312, Л., 1972, с. 111—123.
2. Бугаец А. Н. Вопросы обработки геологической информации с помощью ЭВМ (сообщение о XXIV сессии Междунар. геол. конгресса).— В кн.: Экспресс-информация, сер. Мат. методы исследований в геологии, М., ВИЭМС, 1973, № 10, с. 1—22.
3. Гомберг Г. Л. Предварительный анализ состояния фактографической части информационной базы подсистемы «Геология» в АСУ-Геология.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1973, с. 194—195.
4. Захаров Е. Е., Кристальный Б. В., Смирнова А. С. Об информации, вводимой в автоматизированную информационно-поисковую системы (АФИПС) по рудным месторождениям.— «Изв. АН СССР, сер. геол.», 1970, № 3, с. 82—90.
5. Кноринг Л. Д. Информационно-поисковые системы — новая эффективная форма информационного обслуживания.— В кн.: Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геол.-разв. ин-та (ВНИГРИ), вып. 312, Л., 1972, с. 95—99.
6. Куклин А. П. Электронно-вычислительная машина «читает» геологические карты.— «Природа», 1972, № 2, с. 94—96.
7. Ломтадзе В. В. О принципах построения автоматизированных систем обработки геолого-геофизических данных.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1973, с. 186—193.

УДК 551.2:517

*И. И. Абрамович, И. Г. Клушин***МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕТРОХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ БАЗАЛЬТОИДОВ**

Петрогенетическая схема. В основу конструируемой модели положены представления о зависимости химизма мантийных выплавов от исходного субстрата, в связи с чем использованы непротиворечивые элементы петрогенетических построений А. Ф. Белоусова [1, 2], Ю. А. Кузнецова и Э. П. Изоха [4], Ю. М. Шейнманна [5] и некоторых других геологов. Кроме того, учтена известная из экспериментальных работ Д. Х. Грина и А. Е. Рингвуда [3] зависимость петрохимической специализации магмы от непосредственного влияния термодинамического режима глубин. Фракционирование магмы во время ее подъема, роль которого в масштабе геологической эволюции не вполне ясна, во внимание не принимается.

Исходные допущения, не выходящие за рамки обсуждаемых в последние годы петрологических концепций, сводятся к следующему:

1) глубинный разрез Земли в пределах верхних 700—800 км имеет зональное строение. Снизу вверх выделяются: зона слабо дифференцированного мантийного субстрата; зона «сухих» перидотитов, в пределах которой сохраняются участки базальтоидного состава, образующие коронарную систему, в понимании А. Ф. Белоусова [1]; земная кора. Соответственно снизу вверх убывают фемичность субстрата и степень его тугоплавкости, мерилем чего может служить величина общей железистости $Fe/(Fe+Mg)$;

2) в зависимости от *PT*-условий область магмообразования — астеносфера — может охватывать как зону слабодифференцированной верхней мантии, так и коронарную систему. Миграция фронта магмообразования влечет за собой изменение состава базальтоидных выплавов; смещение его вверх повышает железистость вулканитов;

3) возрастание температуры при фиксированном положении зоны магмообразования увеличивает в составе выплавов долю тугоплавкой компоненты, обогащенной магнием;

4) во время подъема базальтовой магмы возможна контаминация ее материалом коры, что приводит к снижению фемичности излившихся пород и вместе с тем к увеличению их железистости;

5) обеднение зоны магмообразования железистым компонентом в результате выплавления базальтов может частично компенсироваться поступлением недифференцированного вещества из подастеносферной зоны.

Формализованное представление. Вещество земной коры, надастеносферной зоны (коронарной системы), астеносферы и подастеносферной зоны на k -ом этапе вулканической активности характеризуется значениями железистости $C_0, C_{1k}, C_{2k}, C_{3k}$, соответственно. Глубина верхней границы астеносферы (мощность надастеносферной зоны), выражаемая в долях максимально возможного погружения ее нижней границы, — H_k . При постоянной мощности S астеносферы мощность подастеносферной зоны составляет $1 - (H_k + S)$. Каждому k -ому этапу вулканических излияний отвечает изменение ΔH_k глубины H , в частном случае $\Delta H_k = 0$. Подъем ($\Delta H_k < 0$) или погружение ($\Delta H_k > 0$) астеносферы сопровождается вовлечением в нее части вещества коронарной системы или подастеносферной зоны. Средняя железистость вещества астеносферы при этом определяется выражением

$$C_{2, k-1}^* - \frac{C_{2, k-1}(S - |\Delta H_k|) + C_{j, k-1}|\Delta H_k|}{S} = \\ = C_{2, k-1}A_k + C_{j, k-1}(1 - A_k), \quad (1)$$

где A_k — множитель, определяющий степень сохранности состава астеносферы при изменении H на величину ΔH_k ,

$$j = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta H_k < 0 \\ 3, & \text{если } \Delta H_k > 0. \end{cases}$$

В части p_k астеносферы происходит отделение легкоплавкой базальтоидной компоненты, железистость которой $C_{2, k-1}^* + \Delta C_k$. Учитывается сокращение p_k с уменьшением $C_{2, k-1}^*$. Базальтовая выплавка, поднимаясь вверх, частично консолидируется в надастеносферной зоне, а часть ее q_k проходит сквозь толщу земной коры и изливается на дневную поверхность. Железистость излившихся пород с учетом влияния процессов контаминации и гибридизма

$$C_{Bk} = (C_{2, k-1}^* + \Delta C_k)(1 - \theta_k) + C_0\theta_k, \quad (2)$$

где θ_k — мера взаимодействия вещества мантийного и корового происхождения. По окончании вулканического излияния железистость вещества астеносферы становится равной $C_{2, k-1}^* - \Delta C_k \frac{p_k}{1 - p_k}$.

За время T_k между k -ым и $k+1$ -ым этапами, благодаря конвективному перераспределению масс, происходит частичное восстановление железистости астеносферного вещества, так что

$$C_{2k} = C_{2, k-1}^* - \Delta C_k D_k, \quad (3)$$

где $D_k = \frac{P_k}{1-P_k} (1 - T_h/T_0)$; T_0 — время полного восстановления.

Железистость вещества коронарной системы (если пренебречь изменением объема за счет $(1 - q_k)$ части выплавки) принимает значение

$$C_{1k} = \frac{C_{1, k-1} H_k + (C_{2, k-1}^* + \Delta C_k) S p_k (1 - q_k)}{H_k + S p_k (1 - q_k)} = C_{1, k-1} B_k + (C_{2, k-1}^* + \Delta C_k) (1 - B_k), \quad (4)$$

где множитель B_k определяет степень сохранности состава коронарной системы.

В подастеносферной зоне железистость вещества остается неизменной ($C_{3k} = C_{3, k-1}$), если $\Delta H_k > 0$. При $\Delta H_k < 0$

$$C_{3k} = \begin{cases} C_{2, k-1} & \text{в пределах верхней части зоны мощностью } \Delta H_k, \\ C_{3, k-1} & \text{в остальной части зоны.} \end{cases}$$

Последовательно применяя равенства (1) — (4), находим

$$C_{20}^* = C_{20} A_1 + C_{j0} (1 - A_1);$$

$$C_{21}^* = C_{21} A_2 + C_{j1} (1 - A_2) = C_{20} A_1 A_2 + C_{j0} (1 - A_1) A_2 + C_{j1} (1 - A_2) - \Delta C_1 D_1 A_3;$$

$$C_{22}^* = C_{22} A_3 + C_{j2} (1 - A_3) = C_{20} A_1 A_2 A_3 + C_{j0} (1 - A_1) A_2 A_3 + C_{j1} (1 - A_2) A_3 + C_{j2} (1 - A_3) - \Delta C_1 D_1 A_2 A_3 - \Delta C_2 D_2 A_3;$$

.....

Определив таким путем $C_{2, n-1}^*$, получим выражение для железистости базальтоидов на n -ом этапе вулканических излияний

$$C_{Bn} = \left\{ C_{20} \prod_{k=1}^n A_k + \sum_{m=0}^{n-2} C_{jm} (1 - A_{m+1}) \prod_{k=m+2}^n A_k + C_{j, n-1} (1 - A_n) + \Delta C_n - \sum_{k=1}^{n-1} \Delta C_k D_k \prod_{m=k+1}^n A_m \right\} (1 - \Theta_n) + C_0 \Theta_n. \quad (5)$$

Сконструированная модель аналогична тем, которые в теории исследования операций используются для описания циклически повторяющихся процессов при сопутствующем изменении условий их протекания. Примером такого рода может служить известная модель «стирки носков» [6].

Первый член в фигурных скобках показывает вклад исходного состава астеносферы: с увеличением числа этапов вулканической деятельности этот вклад уменьшается, так как $A_k \leq 1$. Второй и третий члены представляют суммарный вклад коронарной системы и подастеносферной зоны — результат измене-

ний положения астеносферы: с увеличением числа n в ходе эволюции величина этого вклада в общем случае возрастает, при постоянстве H он равен нулю. Четвертый член (ΔC_n) отражает влияние термодинамических условий выплавления на рассматриваемом этапе. Пятый член показывает эффект истощения астеносферы предшествующими вулканическими излияниями.

В общем случае комбинация текущих и предшествующих условий может привести к уменьшению, росту и постоянству же-

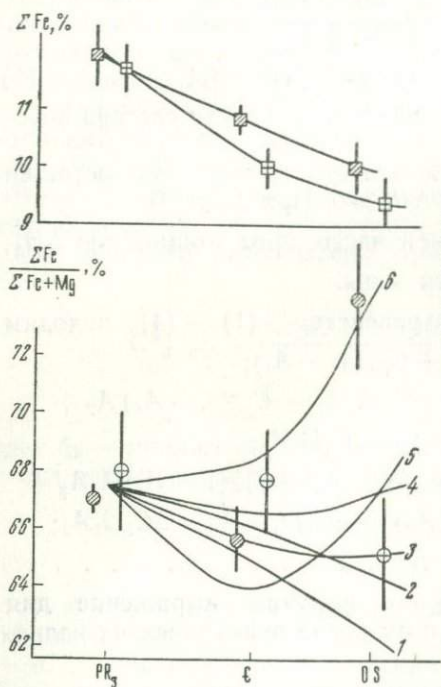


Рис. 1. Содержание железа в пересчете на FeO в % масс. концентрации (квадраты) геосинклинальных базальтоидов каледонского тектономагматического цикла Алтае-Саянской складчатой области (штриховка) и Казахстана (кресты)

Вертикальные линии — 90-процентные доверительные интервалы. Число учетных ареалов вулканизма (числитель) и химических анализов (знаменатель) равно соответственно: PR₃ ($\frac{4}{63}, \frac{5}{27}$); ε ($\frac{15}{506}, \frac{12}{92}$);

OS ($\frac{3}{79}, \frac{10}{115}$). Теоретические кривые желе-

зистости построены по формуле (5) при следующих значениях параметров: $C_0=0,8$; $C_{10}=0,25$; $C_{20}, p_k, \Delta C_k, \theta_k, \Delta H$ и q для кривой 1 соответственно 0,185, 0,05, 0,49, 0 и 0,5; для кривой 2 0,185, 0,03, 0,49, 0, 0 и 0,5; для кривой 3 0,185, 0, 1, 0,477, 0, -0,1 и 0,2; для кривой 4 0,185, $C_{2,k-1} - 0,115, 0,477, 0,1 K - 0,1, -0,1$ и 0,1; для кривой 5 0,2, 0,1, 0,45, 0,05 +0,05 K, -0,1 и 0,2; для кривой 6 0,2, 0,1, 0,46, 0,1 K -0,1, -0,15 и 0,1

зистости вулканитов. При сохранении средней глубины расположения астеносферы должен отмечаться постепенный спад железистости вследствие эффекта истощения.

Верификация на эмпирическом материале. С целью проверки соответствия модели геологической реальности была проведена систематизация и статистическая обработка около 6000 химических определений железистости разновозрастных базальтоидов из эвгеосинклинальных областей Евразии, Северной Америки и Австралии. Характер наблюдаемых тенденций изменения этой характеристики пород во времени иллюстрируют рисунки 1, 2 и таблица.

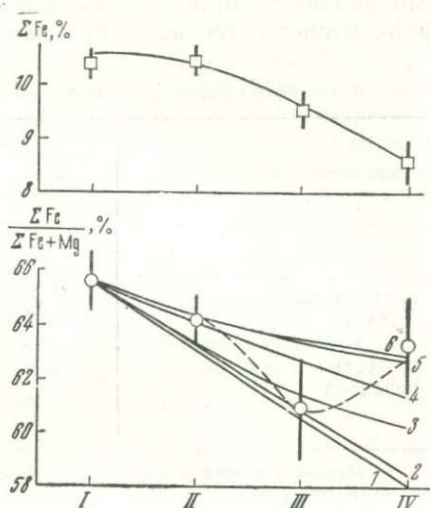
На рис. 1 показано семейство теоретических кривых изменения железистости при различных режимах перемещения фронта магмообразования и варьирующем взаимодействии базальтового расплава с материалом земной коры. Здесь и в дальней-

шем при теоретических расчетах предполагается выплавление не более 10% вещества астеносферы, исходная железистость которого варьирует в интервале 0,15—0,20, что близко к цифрам пиролитовой модели мантии [5]. Непосредственное влияние термодинамических условий на величину ΔC_h , а также медленно протекающих процессов восстановления — на величину D_h в данном случае не учитывается. Как видим, комбинация значений только трех параметров (p_h , ΔH_h , Θ_h), что в первом приближении отвечает петрохимической эволюции в рамках

Рис. 2. Содержание железа в пересчете на FeO в % масс. концентрации и железистость базальтоидов в разновозрастных эвгеосинклиналях:

I — каледонских; $\left(\frac{62}{2420}\right)$, II — варисских $\left(\frac{48}{1152}\right)$, III — киммерийских $\left(\frac{44}{994}\right)$, IV — альпийских $\left(\frac{21}{534}\right)$.

Условные обозначения те же, что и на рис. 1. Теоретические кривые железистости вычислены при следующих значениях параметров: C_2 , T_h/T_0 , R_h и ΔC_h для кривой 1 — 0,15; 0; 0,05 и 0,507 для кривой 2 — 0,185; 0; 0,05 и 0,472, для кривой 3 — 0,2; 0,5; C_{2h-1} 0,1 и 0,457 для кривой 4 — 0,185; 0; 0,03 и 0,472, для кривой 5 — 0,15; 0,5; C_{2h-1} — 0,1 и 0,507, для кривой 6 — 0,185; 0,3; C_{2h-1} — 0,145 и 0,472). Пунктиром показан вариант кривой 6 при учете влияния на ΔC_{III} дополнительного разогрева



единого тектоно-магматического цикла, может порождать прямо противоположные тенденции изменения железистости пород. В природе этим двум крайним случаям соответствуют, в частности эволюция состава геосинклинальных базальтоидов в каледонидах Алтае-Саянской складчатой области и Казахстана. Ордовикские и силурийские излияния, завершающие собственно геосинклинальный цикл в Казахстане, поступали из относительно истощенного мантийного субстрата.

Тенденция истощения верхней мантии начинает доминировать при анализе более крупных временных интервалов. На рис. 2 показано изменение среднего содержания железа и железистости геосинклинальных базальтоидов в течение фанерозоя. Обращает на себя внимание резкий спад железистости при отсутствии соответствующего изменения содержания железа в породах мезозойских эвгеосинклиналей. Это может указывать на интенсивный разогрев верхней мантии и снижение ее вязкости, что хорошо увязывается с представлением о ревивации тектонического режима континентов и широком проявлении мобилизма в эту эпоху.

Экстраполируя тенденцию истощения мантии в течение фанерозой к началу геологической истории и ее современному моменту (см. таблицу), можно найти объяснение как особенно высокой железистости архейских базальтоидов (абсолютный возраст $> 2,5$ млрд. лет), слагающих зеленокаменные пояса в пределах докембрийских щитов, так и экстремально низкой железистости вулканитов островных дуг, находящихся на ранней стадии своего развития (острова Тонга, Кермадек, Новые Гебриды, Марианские и др.). Те и другие структуры не без основания рассматриваются многими исследователями в качестве гомологов фанерозойских геосинклинальных трогов.

Железистость разновозрастных базальтоидов

Статистические характеристики	Раннедокембрийские зеленокаменные пояса	Фанерозойские эвгеосинклинали*	Современные островные дуги
Среднее значение и стандарт среднего	$64,3 \pm 0,52$	60,9—65,7	$61,5 \pm 2,0$
Стандарт	2,0	3,8—7,6	8,1
Число учтенных ареалов	15	175	16
Количество химических анализов	980	5100	155

* Интервал вариации железистости указан в соответствии с данными, учтенными при построении рис. 2.

Данные таблицы и рисунки свидетельствуют о несомненном и притом весьма внушительном росте дисперсии изучаемой характеристики в более молодых образованиях, что хорошо увязывается с представлением об увеличении неоднородности верхней мантии и земной коры.

Таким образом, рассматриваемая модель эволюции состава базальтоидов не противоречит эмпирически устанавливаемым закономерностям. Последние дают возможность оценить диапазон возможных колебаний параметров модели, что имеет немаловажное значение для контроля многих петрогенетических построений. В связи с этим важно отметить следующее.

1. В интервале одного тектоно-магматического цикла определяющее воздействие на химизм геосинклинальных вулканитов оказывают вариации состава исходного субстрата, связанные с миграцией фронта магмообразования.

2. В масштабе геологической истории Земли отчетливо преобладает тенденция истощения мантийного субстрата. Более молодые эвгеосинклинали выполнены в среднем менее фемичными и менее железистыми вулканическими породами.

3. Эпохи глобального разогрева мантийного вещества и, вероятно, связанные с этим явления мобилизма усложняют петрохимическую эволюцию, но не изменяют ее генеральную тенденцию.

4. Истощенность астеносферы в областях современного базальтоидного вулканизма островных дуг заставляет либо уточнять бытующие представления о «первичности» Тихого океана, либо допускать существование эффективного механизма выравнивания состава верхней мантии в глобальном масштабе.

ABSTRACT

The ratio $Fe/(Fe+Mg)$ is taken as the indicator of basalts evolution. The model is constructed according to the possible vertical migration of asthenosphere. There is no contradiction between the empirical data (>6 thousands of chemical analyses of basaltoids of different ages and regions) and the model sequences. The main tendency of evolution is the diminution of Fe and $Fe/(Fe+Mg)$ with decreasing of rocks age. The intensive warming of mantle matter and the effects of mobilism have complicated the temporal trend of rocks composition.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов А. Ф. Связь состава и массовости вулканизма с тектоническими факторами.— В кн.: Проблемы магматической геологии. Новосибирск, «Наука», 1973, с. 262—278.
2. Белоусов А. Ф. Проблемы генезиса базитовых магм.— В кн.: Геодинамика, магнеобразование и вулканизм. Петропавловск-Камчатский, 1974, с. 223—234.
3. Грин Д. Х., Рингвуд А. Э. Происхождение базальтовых магм.— В кн.: Петрология верхней мантии. М., «Мир», 1968, с. 132—227.
4. Кузнецов Ю. А., Изох Э. П. Геологические свидетельства интрателлурических потоков тепла и вещества как агентов метаморфизма и магнеобразования.— В кн.: Проблемы петрологии и генетической минералогии. Т. 1. М., 1969, с. 7—20.
5. Шейнманн Ю. М., Рингвуд А. Э. Очерки глубинной геологии. М., «Недра», 1968. 231 с.
6. Johnson P. B. The washing of socks.— „Math. mag.“, vol. 39, N 2, 1966, p. 77—83.

УДК 551:517

В. А. Амелькин, Ю. А. Воронин

ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НУМЕРИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ

1. Известно, что измерение свойства f_i на множестве A предполагает задание $\{f_i(A)\}$ — множества всех возможных значений f_i на A [4]. Аналогично, измерение множества свойств $F = \{f_i\}$

на множестве объектов A предполагает задание $\{F(A)\}$ — множества всех возможных значений F на A . Такое задание осуществляется посредством построения классификаций-перечисления множества A по множеству свойств F . Хорошо известно, какое большое значение имеют классификации в геологии и известно значительное число работ, посвященных проблеме их построения и анализа.

Понятие производящей функции с успехом используется для нумерации неупорядоченных совокупностей. При нумерации упорядоченных совокупностей пришлось бы ввести такие производящие функции, которые приводят к некоммутативной алгебре [5]. В этом случае даже прямое перечисление совокупностей более эффективно и построение функций, дающих возможность эффективно проводить перечисления, представляется весьма интересной и важной для практики задачей.

Построение нумерических функций для различных совокупностей можно свести к решению следующих задач.

Пусть задано множество объектов $A = \{a_j\}$ и множество свойств $F = \{f_i\}$, причем свойства f_i могут принимать значения $f_i = 0, 1, \dots, n_i$; $i = 1, 2, \dots, m$. Каждому объекту a_j поставлен в соответствие вектор значений свойств, измеренных на данном объекте $\vec{f}^j = \{f_1^j, f_2^j, f_3^j, \dots, f_m^j\}$; $j = 1, 2, \dots, n$.

Задача 1. По заданным ограничениям $R_v(\vec{f}^j)$, $v = 1, 2, \dots, k$, которым должны удовлетворять \vec{f}^j , требуется:

а) указать N -число всех допустимых \vec{f}^j , заданных классификацией перечисления, учитывающей указанные ограничения;

в) указать способ перечисления всех допустимых \vec{f}^j ;

с) построить нумерическую функцию $\varphi(\vec{f}^j) = N_j$; ($0 \leq N_j \leq N$), которая сопоставляла бы однозначно каждому вектору \vec{f}^j некоторое число N_j (номер этого вектора в классификации, заданной условиями $R_v(\vec{f}^j)$);

д) по заданному N_j , определенному из (с), указать обратное преобразование $\varphi^{-1}(N_j)$, позволяющее найти любую компоненту вектора \vec{f}^j .

Легко видеть, что задача 1 имеет обратную.

Задача 2. По заданному F -множеству всех допустимых значений \vec{f}^j найти условия (ограничения) $R_v(\vec{f}^j)$, порождающие \vec{F} . Иначе говоря, задача сводится к указанию ограничений на полную классификацию перечисления, при условии, что новая классификация, учитывающая эти ограничения $R_v(\vec{f}^j)$, способна породить \vec{F} и является минимальной в смысле числа лишних классов.

Предположим, что мы умеем решать вышеперечисленные задачи, тогда оказывается возможным для различного вида данных измерений, отвечающих условиям $R_v(\vec{f}^j)$, указать свой эффективный способ кодирования этих данных.

Действительно, в результате измерений мы получаем \vec{F} -множество всех допустимых \vec{f}^j . Зафиксируем $R_v(\vec{f}^j)$, отвечающие F . Используя $\varphi(\vec{f}^j) = N_j$, каждому \vec{f}^j припишем номер N_j , учитывая, что с помощью обратного преобразования $\varphi^{-1}(N_j)$ можно восстановить любую компоненту вектора \vec{f}^j . Таким образом, вместо множества векторов \vec{F} можно будет рассматривать множество номеров $N = \{N_j\}$. Легко видеть, что переход от \vec{F} к N дает ряд преимуществ при хранении, передаче и, главное, при анализе данных измерений. Заметим, что множество \vec{F} всегда удобно представлять в виде двух подмножеств $\vec{\Phi}$ (координаты объектов) и $\vec{\Psi}$ (значения свойств f_i , принимаемые на объектах). Тогда вместо этих множеств можно рассматривать вектора $M = \{M_j\}$ и $L = \{L_j\}$, компоненты которых можно назвать соответственно обобщенными координатами и обобщенными свойствами для соответствующих объектов.

Настоящая работа посвящена развитию указанной идеи. При различных фиксированных условиях $R_v(\vec{f}^j)$, которым отвечают многие реальные массивы геологических данных, решается задача I и исследуется возможность использования результатов для эффективного хранения геологических данных в памяти ЭВМ. При этом под задачей эффективного хранения будем понимать следующую задачу.

Пусть φ — преобразование, позволяющее перейти от массива чисел X к массиву чисел Y за время $t(\varphi)$, и φ^{-1} — обратное преобразование, позволяющее перейти от массива чисел Y к массиву чисел X за время $t(\varphi^{-1})$.

Припишем этим массивам информационные объемы $V(X)$ и $V(Y)$ в двоичных единицах. Назовем преобразования φ и φ^{-1} допустимыми, если $t(\varphi) + t(\varphi^{-1}) \leq t_0$ и $V(Y) < V(X)$. Тогда под проблемой эффективного представления массива чисел X массивом Y будем понимать отыскание таких допустимых преобразований φ и φ^{-1} , для которых оказывается минимальным отношение $V(Y)/V(X)$.

При рассмотрении нумерических функций $\varphi(\vec{f}^j)$, полученных для частных ограничений $R_v(\vec{f}^j)$, даются оценки затрат машинной памяти и машинного времени, необходимые при использовании конкретной нумерической функции. Для различных нумерических функций приводятся примеры массивов геологиче-

ских данных, которые отвечают заданным ограничениям $R_v(\vec{f}^j)$.

Несложно показать [2], что данные геологических измерений обычно представляются (или их можно представить) в виде матриц соответствия: объекты-свойства, объекты—объекты, свойства—свойства. Для такого вида массивов геологических данных и решается задача представления их численными функциями и восстановления первоначальных значений по известным значениям численных функций.

2. Рассмотрим матрицу объектов—свойства общего вида, т. е. когда известны лишь пределы измерения каждого свойства f_i (на компоненты векторов \vec{f}^j не наложено никаких ограничений $R_v(\vec{f}^j)$).

Для такой матрицы можно построить [1] численную функцию, устанавливающую соответствие между различными векторами $\vec{f}^j = \{f_1^j, f_2^j, \dots, f_m^j\}$ и некоторыми номерами N_j .

Будем рассматривать классификацию перечисления общего вида, представленную примером (см. таблицу, I). На языке теории графов этой классификации соответствует сбалансированное дерево, т. е. дерево, у которого каждая вершина i -го уровня имеет одинаковое число ветвлений $\lambda_i = n_i + 1$. Понятно, что число классов такой классификации (или все равно, что число конечных вершин сбалансированного дерева) будет $V = \prod_{i=1}^m \lambda_i$.

Легко показать, что результаты, полученные для классификации перечисления общего вида с успехом могут быть использованы при решении задачи сжатия числовой информации.

Для этого покажем, как можно столбцам произвольной матрицы сопоставить номера N_j .

Рассмотрим пример. Пусть задана матрица

$$A' = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 0 & 2 & 3 & 1 \\ 3 & 0 & 4 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

Вектором градаций для этой матрицы будет $\Lambda = \{6, 5, 3, 4\}$, а вектором номеров столбцов N будет $N = \{36, 305, 51, 145, 197, 102\}$. Используя обратное преобразование, несложно восстановить любую компоненту матрицы A' .

Для всякой матрицы A численное значение N_j , поставленное в соответствие j -му столбцу по МПЧ не превзойдет по величине V , т. е.

$$\max_j (N_j) \leq \prod_{i=1}^m \lambda_i - 1.$$

I

0						1						2						3								
0			1			0			1			0			1			0			1					
0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			

II

0						1						2											
1			2			0			2			0			1								
0		2		0		1		1		2		0		1		1		2		0		2	
1	2	0	1	1	2	0	2	0	2	0	1	1	2	0	2	0	2	0	1	1	2	0	1
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

III

0						1					2				3			4		5
0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	0	1	2	3	0	1	2	0	1	0
5	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0	3	2	1	0	2	1	0	1	0	0
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Сравним затраты памяти (в двоичных единицах), необходимые при упаковке одного столбца длиной m по методу максимального элемента таблицы (ММЭТ), с затратами, необходимыми при использовании МПЧ.

Введем следующие обозначения: $S_0(m)$ — затраты по МПЧ; $S_1(m)$ — затраты по ММЭТ; c — численное значение максимального элемента таблицы. Тогда будем иметь:

$$S_0(m) = [\log_2((c+1)^m - 1)] + 1;$$

$$S_1(m) = m [\log_2 c + 1].$$

Можно доказать [3], что при $c=2^\alpha - 1$ (α — целое положительное число)

$$\min(S_1(m) - S_0(m)) = 0,$$

т. е. затраты совпадают, а при $c=2^\alpha$ эта разность достигает максимума и в пределе стремится к $m-1$. Иначе говоря, при сравнении МПЧ и ММЭТ мы имеем всегда $S_1(m) \geq S_0(m)$. ММЭТ не является самым экономичным среди методов упаковки, если матрица большого размера такова, что максимальные элементы различных строк резко отличаются по значению (например, элементы одной строки могут принимать значения только 0 или 1, а элементы другой строки могут принимать значения из значительно большего числового интервала). В этом случае эффективнее пользоваться упаковкой по максимальным элементам строк таблицы (ММЭС). Наилучшими примерами таких массивов данных являются геологические массивы информации. Обозначая: $S_0(m)$ — затраты по МПЧ; $S_2(m)$ — затраты по ММЭС; c_i — численное значение максимального элемента i -ой строки таблицы, имеем

$$S_0(m) = [\log_2(\prod_{i=1}^m (c_i + 1) - 1)] + 1;$$

$$S_2(m) = \sum_{i=1}^m ([\log_2 c_i] + 1).$$

Как и в предыдущем случае, можно показать, что всегда $S_2(m) \geq S_0(m)$, причем равенство достигается, если все $c_i = 2^{i^\alpha} - 1$.

Кроме экономии машинной памяти, метод оказывается очень удобным для программирования на любом алгоритмическом языке и не требует больших затрат машинного времени.

Говоря о затратах машинного времени, следует отметить:

а) при использовании этого метода данные могут быть размещены в оперативной памяти, и тогда затраты времени на сжатие и восстановление будут незначительными по сравнению с затратами машинного времени на обращение и поиск данных на внешнем запоминающем устройстве;

б) если объем информации не вмещается в оперативную память машины даже при использовании предложенного метода и мы вынуждены использовать внешнее запоминающее устройство, то считывание в оперативную память будет проходить большими порциями и, следовательно, число обращений к внешним запоминающим устройствам будет меньше, поэтому и время решения задач сократится.

Немаловажным является и то, что для некоторого вида задач можно вообще не производить операцию восстановления элементов, а определять операции на номерах N_j . Например, при перестановке столбцов матрицы нет необходимости менять местами все m элементов каждого столбца, а достаточно сменить местами два номера, соответствующих данным столбцам. В этом случае мы также можем говорить о экономии машинного времени.

Учитывая ячеистую структуру памяти многих современных ЭВМ и тот факт, что значения чисел N_j могут принимать большие значения, которые не представимы точно в одной ячейке памяти, можно заданную матрицу разбивать на k подматриц, таких, что числа N_{pj} ($p=1, 2, \dots, k$), соответствующие j -ому столбцу p -ой подматрицы, уже могут быть представлены точно в одной ячейке памяти. Таким образом, в общем случае мы переходим от матрицы размерностью $(m \times n)$ к матрице размерностью $(k \times n)$, где $k < m$. Можно, наоборот, для больших значений чисел N_j матрицы стыковать несколько ячеек, чтобы записать точнее значение соответствующего числа.

Рассмотренный в данной работе метод с успехом может быть использован в ряде задач структурной обработки информационных массивов.

В заключение разбора этого метода отметим, что выражение для нумерической функции представляет собой десятичное представление числа, заданного в полиадической (обобщенной позиционной) системе счисления. Обратное преобразование позволяет восстановить любой i -й разряд числа вне зависимости от значений предыдущих или последующих разрядов. Это можно использовать, например, при машинном переводе чисел из десятичной системы в двоичную, проводя одновременное (параллельное) вычисление всех двоичных разрядов.

3. Рассмотрим задачу 1 при ограничении $R_p(\vec{f}^j)$ на элементы столбцов матрицы, которое задается в виде $f_i^j = f_{i+1}^j$. Пример классификации, учитывающей такое ограничение, изображен на таблице (см. II). Примером геологических массивов, удовлетворяющих данному ограничению, может служить множество векторов, каждый из которых несет информацию о некоторой стратиграфической колонке. Например, если каждой породе, из которых слагаются стратиграфические колонки, поставить некоторый порядковый номер, то отдельную колонку можно рас-

считать как вектор $X_j = \{x_{ij}\}$, компонентами которого являются номера пород, составляющих данную колонку, причем $x_{ij} = 0, 1, \dots, c$. Естественным ограничением для этих векторов является $x_{ij} \neq x_{i+1, j}$. Учитывая это ограничение, зная число слоев в колонке и полный набор пород, которые могут являться составляющими заданного множества колонок, можно каждой j -ой стратиграфической колонке придать ее код-номер в классификации с указанным ограничением. Переноса результат для классификации на произвольное подмножество векторов, удовлетворяющих заданным условиям, получим возможность нумеровать любой такой вектор следующим образом

$$N_j = x_{1j}c^{m-1} + \sum_{i=2}^m (x_{ij} + \text{sign}(\text{sign}(x_{i-1, j} - x_{ij}) - 1))c^{m-i}. \quad (1)$$

Обратное преобразование для (1) задается рекуррентной формулой

$$\begin{aligned} x_{ij} &= u_{ij} - \text{sign}(\text{sign}(x_{i-1, j} - u_{ij}) - 1) - \text{sign}(i-1), \\ &\text{где } x_{0j} = 0; \quad t_{0j} = N_j; \quad t_{ij} = t_{i-1, j} - u_{i-1, j}c^{m-i}, \\ &u_{ij} = \left[\frac{t_{i-1, j}}{c^{m-i}} \right]. \end{aligned}$$

Формулы (1) и (2), полученные для нумерации векторов $X_j = \{x_{ij}\}$ с целочисленными компонентами x_{ij} , легко можно обобщить для векторов с рациональными компонентами.

Следует отметить, что подобным преобразованием можно пользоваться и для массивов, где иногда нарушается заданное ограничение $x_i \neq x_{i+1}$, т. е. может оказаться, что $x_i = x_{i+1}$. В этом случае ошибка при восстановлении истинного значения x_{i+1} равна точности задания значений (для целочисленных значений 1). Так, например, при представлении по (1) амплитуд сейсмической трассы в случае равенства двух соседних значений, при восстановлении по (2) ошибка определения второго значения близка к точности измерения. Такой погрешностью часто можно пренебречь.

При представлении по изложенному методу в машинной памяти вектора длиной m , компоненты которого удовлетворяют данному ограничению, затраты памяти в двоичных единицах равны

$$S = \lceil \log_2 (c^m + c^{m-1}) \rceil + 1,$$

что меньше затрат памяти, необходимых для хранения компонент вектора по методу упаковки. Затраты машинного времени также незначительны, ввиду простоты формул (1) и (2).

4. Другим примером использования предлагаемого подхода может служить построение нумерической функции для матриц,

элементы векторов — столбцов которых удовлетворяют ограничениям $\sum_{i=1}^m x_{ij} = p$. Примером массивов геологической информации, удовлетворяющих данному ограничению, могут служить данные геохимического анализа. Если компоненты вектора $X_j = \{x_{ij}\}$ есть процентное содержание в j -ой пробе i -го элемента, то естественно, $\sum_{i=1}^m x_{ij} = 100\%$. Классификация перечисления для таких ограничений, называемая классификацией компонентного состава, представлена частным примером на таблице (см. III).

Нумерация векторов-столбцов, удовлетворяющих таким ограничениям, производится по следующей формуле [1] (через $C(m/n)$ будем обозначать число сочетаний из m элементов по n):

$$N_j = C(m + p - 1/p) - \sum_{i=1}^{m-1} C(p - 1 + i - \sum_{k=1}^{m-i} x_{kj}/i).$$

Обратное преобразование для восстановления компонент вектора задается неравенствами

$$C(m + p - i - \sum_{k=1}^i x_{kj}/p - \sum_{k=1}^i x_{kj}) > C(p + m - 1/p) - N_j - \\ - \sum_{s=1}^i C(m + p - s - \sum_{k=1}^s x_{kj}/p - 1 - \sum_{k=1}^s x_{kj}) \geq 0.$$

Несмотря на громоздкость последней формулы и соответствующую сложность вычислений, данный метод с успехом может быть использован для хранения числовой информации, удовлетворяющей данным ограничениям, ввиду своей экономичности в смысле затрат машинной памяти.

5. Итак, рассматривая различные массивы геологических данных и учитывая специфику их построения, предлагаемый подход позволяет строить нумерические функции для классификаций с заданными ограничениями $R_v(\vec{f}^j)$. С помощью этих нумерических функций можно соответствующим столбцам (строкам) числовых таблиц ставить номера, по которым с помощью обратного преобразования несложно провести восстановление исходных элементов таблицы. Кроме экономии машинной памяти и машинного времени при использовании нумерических функций следует отметить, что эти функции являются очень удобными для программирования на алгоритмических языках. В то же время метод упаковки не может быть реализован на многих алгоритмических языках. Использование нумерических функций может облегчить решение задач структурной обработки больших массивов геологической информации. По-видимому,

построение нумерических функций для различного вида геологических массивов данных является наиболее перспективным подходом при решении геологических задач, использующих большие объемы информации. В то же время применение нумерических функций дает ряд преимуществ при анализе данных измерений.

ABSTRACT

The authors of this paper offer a method for coding geological data expressed in «object — property» matrix. Method is based on the classification of enumeration. A function is formed taking into account peculiarities of «object — property» matrix. The function permits to give a number to every object and then, using this number to determine object's properties. Possible usage of this coding method in geological data transferens, storage and retrieval is also discussed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин Б. К. К построению нумерических функций.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974, с. 72—100.
2. Амелькин В. А. О представлении геологической информации в машинной памяти.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1973, с. 238—250.
3. Амелькин В. А. Об использовании полиадической системы счисления при хранении числовой информации в памяти ЭВМ.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1974, с. 203—217.
4. Воронин Ю. А., Гольдин С. В. Вопросы теории конечных геологических классификаций.— В кн.: Опыт анализа и построение геологических классификаций на основе представлений конечной математики. Новосибирск, 1964, с. 32—39. (Труды ИГиГ СО АН СССР).
5. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. М., «Наука», 1975, 479 с.

УДК 550.384.5+551.240

А. В. Долицкий

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ

Определение траектории движения палеогеографического полюса. Анализ пространственного расположения линейных структурных элементов земной коры (простирающихся трещин и разломов, в том числе выраженных в рельефе, простирающихся линейных магнитных аномалий) показал, что

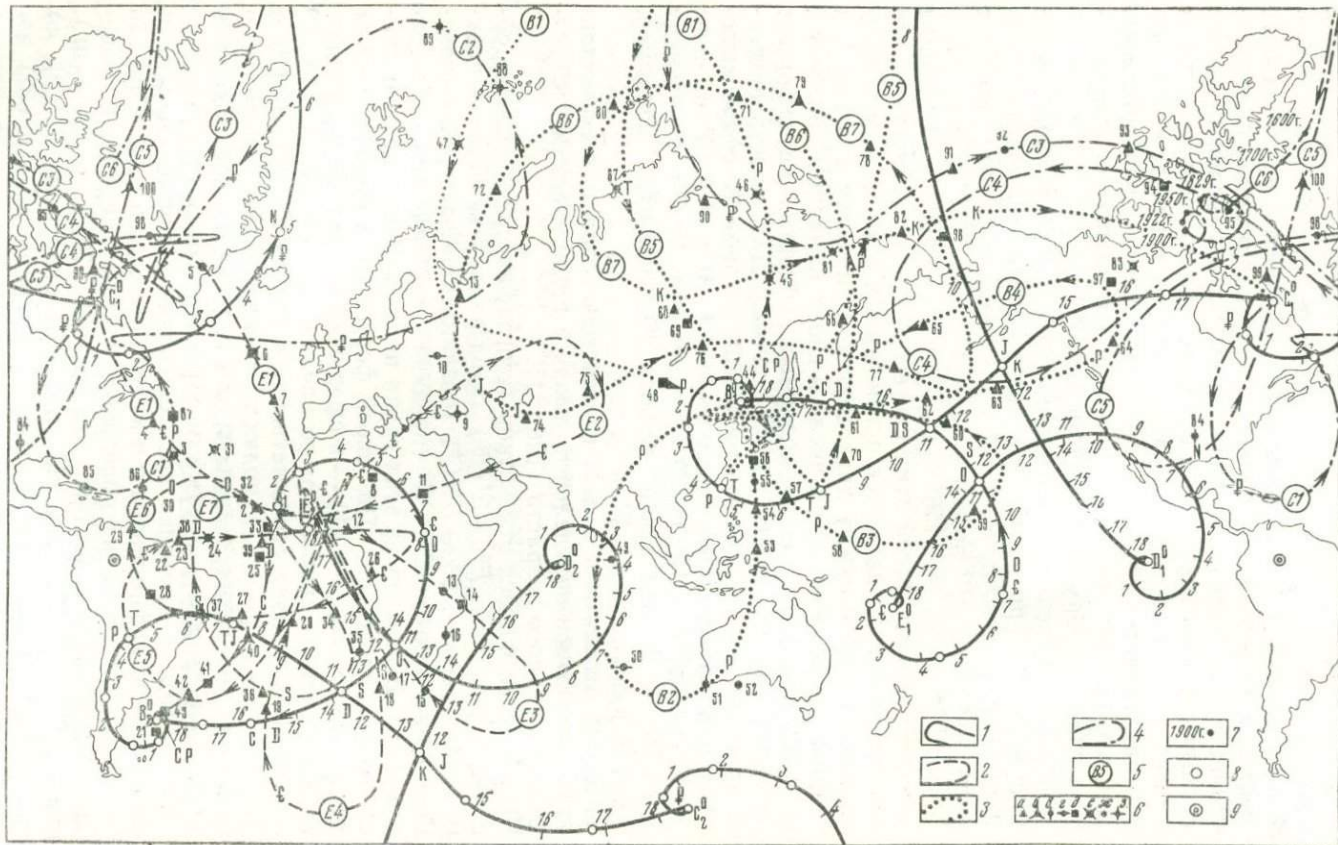
последние образуют системы взаимно перпендикулярных направлений. Эти системы являются отпечатками в земной коре полей напряжений разного масштаба: глобального, регионального и местного. Отпечатки глобального поля напряжений оказались состоящими из радиально расположенных дуг большого круга и системы дуг, концентричных относительно полюсов, в которых сходятся радиальные дуги. Такой рисунок отпечатка поля напряжений свидетельствует о его ротационном происхождении, о том, что составляющие его направления являются направлениями главных нормальных напряжений.

Подобных отпечатков ротационного поля напряжений было обнаружено 28. Три из них оказались имеющими взаимно перпендикулярные оси: L, M, N [2, 3]. Координаты их северных (предположительно) полюсов: $L_1—30^\circ$ в. д., 52° с. ш., $M_1—115^\circ$ в. д., 5° ю. ш., $N_1—156^\circ$ з. д., 37° с. ш. (рис. 1) Взаимная перпендикулярность осей этих систем позволяет допустить, что лишь два отпечатка являются истинными, а один ложным, представляющим собой сумму двух других. Отпечатки с осями L и M хорошо выражены, в том числе в своих полярных областях. Отпечаток с осью N в своих полярных областях не проявляет себя и поэтому его можно считать ложным. Для пространственной привязки и индексации отпечатков на земной сфере выделены точки, находящиеся между осями L, M и N в 45° от них: A и F — между L и M , B и D — между M и N , C и E — между L и N . Это позволяет точки полюса, находящиеся, например, вблизи B , именовать B^1, B^2, B^3 и т. д.

Возраст отпечатков L и M неизвестен, возраст всех остальных 25 отпечатков определен по связи с геологическими структурами известного возраста (табл. 1).

Найденные полюса отпечатков (географические полюса) образуют три группы: $E^0—E^7(B^0)$ (венд/ранний кембрий — поздний карбон/пермь), $B^0—B^7(C^0)$ (поздний карбон/пермь — поздний мел/палеоген) и $C^0—C^5$ (поздний мел/палеоген — настоящее время). В каждой из этих групп полюса обнаруживают спиральное расположение. По своей форме это логарифмическая спираль вида: $\rho = \rho_0 e^{k\varphi}$ (1) — в сферической системе координат. При движении по спирали от ее начала в точках E^0, B^0 и C^0 ($\rho=0, \varphi=0$) до конца соответственно в точках $E^7(B^0), B^7(C^0)$ и $C^7(D^0)$ ($\rho=\rho_{\max}, \varphi=\varphi_{\max}$) полюса обнаруживают нормальную возрастную последовательность, что позволяет предположить непрерывное движение полюса по этой спирали.

Встает задача проверки предположения о форме спирали и определения коэффициентов ρ и k , величин ρ_{\max} и φ_{\max} . Спираль $C^0—C^5$ не закончена, но положение начала спирали C^0 известно (положение северного полюса $C_1^1—70^\circ$ з. д., 62° с. ш.). Спираль $B^0—B^7(C^0)$ известна до своего окончания $B^7(C^0)$, но неизвестно положение ее начала B^0 . Спираль $E^0—E^7(B^0)$ известна только в своей средней части, но положение ее начала



1 — траектория движения палеогеографического полюса; 2 — траектория движения палеомагнитного полюса; синхронная траектория движения палеомагнитного полюса, начинающаяся в т. E^0 ; 3 — траектория движения палеомагнитного полюса, начинающаяся в т. B^0 ; 4 — траектория движения палеомагнитного полюса, начинающаяся в т. C^0 ; 5 — индекс витка палеомагнитного полюса; буква — начальная точка соответствующей спирали траектории движения палеогеографического полюса, цифра — порядковый номер витка (от 1 до 7); 6 — положение палеомагнитного полюса, определенное по породам: а — Европы, б — Азии, в — Индии, г — Африки, д — Северной Америки, е — Южной Америки, ж — Антарктиды (цифра отвечает порядку вому номеру определения координат палеомагнитного полюса, которое приведено в тексте); 7 — возраст (в годах) магнитного полюса, найденного на основе прямых магнитных измерений; 8 — возраст палеогеографического полюса, найденного на основе анализа линейных структурных элементов; 9 — полюс остаточного поля Бауэра

E^0 и окончания $E^7(B^0)$ неизвестно. Коэффициенты p и k в уравнении (1) для спирали $C^0—C^5$ определяются как средние из решения четырех систем, состоящих из двух уравнений этого вида с двумя неизвестными. Это системы, отвечающие положению полюсов C^1 и C^2 , C^2 и C^3 , C^3 и C^4 , C^4 и C^5 . Величины ρ_1 и φ_1 , ρ^2 и φ^2 , ρ_3 и φ_3 и т. д. измеряются циркулем непосредственно на глобусе масштаба 1 : 10 000 000, на котором нанесены найденные полюса. Решение этих уравнений позволило определить коэффициенты: $p=0,05$, $k=0,18$.

При повороте спирали $C^0—C^5$ вокруг оси N на 90° против часовой стрелки точки $B^1—B^6$ оказываются находящимися на ней с точностью $\pm 1^\circ$. При этом точка C^0 (начало спирали) занимает положение B^0 , также отвечающее началу спирали (координаты северного полюса $B_1^0—127^\circ$ в. д., 42° с. ш.). Это позволяет определить угловое расстояние $B^0—B^7(C^0)$, отвечающее $\rho_{\max}=75^\circ$ и из уравнения (1) найти $\varphi_{\max}=420^\circ$. Тем самым определяется ориентация на сфере радиуса-вектора, от которого ведется отсчет угла φ . Этим же путем найдены координаты начала спиралей E_1^0 (174° в. д., 120° ю. ш.) и D_1^0 (113° в. д., 2° с. ш.). Положение спирали, начинающейся в точке E_1^0 , подтверждается тем, что на нее с точностью $\pm 1 \div 2^\circ$ ложатся известные полюса $E^1—E^4$. Для спирали, начинающейся в точке D_1^0 , еще не получены надежные определения положений полюса, но существование трех спиралей, совмещающихся между собой при повороте вокруг оси N на 90° , не оставляет сомнения в ее реальности.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что во всяком случае в своей конечной части траектория состоит из четырех спиралей, совмещающихся друг с другом при повороте вокруг оси N на 90° . Движение по ней можно представить в виде: $D^0—E^0—B^0—C^0$, понимая под перечисленными точками начала соответствующих спиралей.

Для возрастной градуировки спиралей был построен график, на котором точки положений полюса (рис. 2) были изображены в координатах: ось абсцисс — градусы поворота спирали, ось ординат — изотопный (относительно

Распространение на материках отпечатков ротационного поля напряжений разного возраста

Тектонический этап	Возраст тектонического этапа	Индексы отпечатков рот. поля напр., отвечающих по своей ориентации региональным структурам данного возраста активизации						Индекс отпечатка рот. поля напр. общего для материков	Координаты северного полюса
		Европа	Азия	Африка	С. Америка	Ю. Америка	Австралия		
Байкальский	Граница венда — раннего кембрия		E^0 E^1					E^0 E^1	12° ю. ш. 174° в. д. 9° ю. ш. 173° в. д.
	Ранний кембрий		E^2 E^3					E^2 E^3	11° ю. ш. 165° в. д. 23° ю. ш. 167° в. д.
	Средний кембрий	E^4, E^{6a} B^6	E^4, C^1	E^4, E^{6a}				E^4	29° ю. ш. 176° з. д.
	Граница позднего кембрия — раннего ордовика		E^5					E^5	10° ю. ш. 151° з. д.
Каледонский	Граница позднего ордовика — раннего силура		E^6		E^6	E^6	E^6	E^6	24° с. ш. 159° з. д.
	Граница позднего силура — раннего девона	E^4, E^{6a} B^4, B^6	E^{6a}, B^6	E^4, E^{6a} B^6	E^{6a}, B^6		E^{6a}, B^6	E^{6a}	38° с. ш. 175° з. д.
Герцинский	Поздний девон				E^{6b}			E^{6b}	45° с. ш. 158° в. д.
	Конец среднего — карбона	E^{6c}, B^1 B^4		E^{6c}				E^{6c}	44° с. ш. 140° в. д.
	Граница позднего карбона — ранней перми	E^{6c}, B^1 B^4	B^1	B^1			B^1	$B^0 (E^7)$ B^1	42° с. ш. 127° в. д. 47° с. ш. 127° в. д.
Герцинский	Ранняя пермь			B^2	B^2			B^2	50° с. ш. 119° в. д.
	Поздняя пермь				B^3			B^3	46° с. ш. 111° в. д.
	Граница поздней перми — раннего триаса	E^{6c}, B^4 B^1	B^4	B^4	B^4		B^4	B^4	21° с. ш. 120° в. д.
Яншанский	Граница среднего — позднего триаса		B^5	B^5				B^5	19° с. ш. 148° в. д.
Киммерийский	Поздняя юра	B^6, B^{6a} B^{6b}, C^2 E^{6a}	B^6, B^{6a} B^{6b}, C^2 E^{6a}	E^4, B^6 E^{6a}	E^{6a}, B^6	E^{6a}, B^6	E^{6a}, B^6	B^6	38° с. ш. 175° з. д.
Тихоокеанский	Ранний мел	E^{6a}, B^6 B^{6a}, B^{6b} C^2, B^c	E^{6a}, B^6 B^{6a}, B^{6b} B^{6c}, C^2					B^{6a}	52° с. ш. 153° з. д.

Тектонический этап	Возраст тектонического этапа	Индексы отпечатков рот. поля напр., отвечающих по своей ориентации региональным структурам данного возраста активизации						Индекс отпечатка рот. поля напр., общего для материков	Координаты северного полюса
		Европа	Азия	Африка	С. Америка	Ю. Америка	Австралия		
Тихоокеанский	Граница раннего — позднего мела	E_{6a}, B_6 B_{6a}, B_{6b} C^2	E_{6a}, B_6 B_{6a}, B_{6b} C^3	B_{6b}	B_{6b}	B_{6b}		B_{6b}	58° с. ш. 138° з. д.
	Поздний мел		B_{6c}, C^0 C^1		B_{6c}, C^0 C^1			B_{6c}	63° с. ш. 105° з. д.
Альпийский	Граница позднего мела — раннего палеогена		B_{6c}, C^0 C^1		B_{6c}, C^0 C^1			$C^0 (B^2)$	61° с. ш. 71° з. д.
	Палеоцен	C^1	B_{6c}, C^0 C^1		B_{6c}, C^0 C^1			C^1	56° с. ш. 80° з. д.
	Граница палеоцена — эоцена	E_{6a}, B_6 B_{6a}, B_{6c} C^2	C^2	C^2		C^2	C^2	C^2	53° с. ш. 62° з. д.
	Поздний эоцен			C^3	C^3			C^3	56° с. ш. 40° з. д.
	Граница позднего палеогена — раннего неогена		C^4		C^4			C^4	70° с. ш. 20° з. д.
	Граница неогена — антропогена	C^5	C^5	C^5	C^5	C^5	C^5	C^5	Современное положение

начала спирали) возраст. Через эти точки, исходя из представлений о плавном изменении скорости движения полюса, были проведены три кривые, отвечающие трем установленным спиральным траекториям — палеозойской (*E*), мезозойской (*B*) и кайнозойской (*C*). Определив по этим кривым соотношение между возрастом полюса и его положением на спирали траектории (в углах поворота спирали), можно провести возрастную градуировку спиралей.

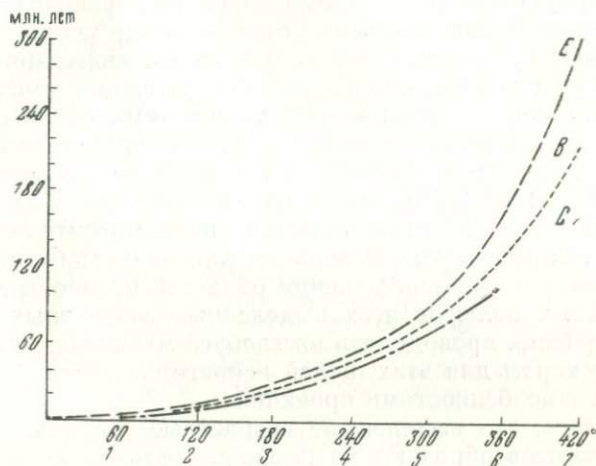


Рис. 2. Кривые длительности движения палеогеографического полюса по спиральным траекториям его траектории:
E — палеозойская спираль, *B* — мезозойская спираль, *C* — кайнозойская спираль, 0, 1, 2, 3... номер отпечатка глобального ротационного поля напряжений (остальные объяснения в тексте)

Построение кривых позволило обнаружить, что полюса отпечатков ротационного поля напряжений отвечают значениям φ , равным $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ, 360^\circ, 375^\circ, 390^\circ, 405^\circ, 420^\circ$. Это означает, что интервалы между отпечатками составляют 60° , а в промежутке между значениями φ , равными 360° и 420° , обнаруживаются также интервалы в 15° . Перечисленным значениям φ с интервалами в 60° присвоены номера от 0 до 7, а с интервалами в 15° — номера *a, b, c*, сопутствующие номеру 6, после которого отмечаются эти интервалы. Буквенный индекс спирали траектории (*E* — палеозой, *B* — мезозой и *C* — кайнозой) и цифровое обозначение вверху справа составляют индекс отпечатка глобального ротационного поля напряжений. Оказалось, что длительность этапа, отвечающего палеозойской спирали *E*, ограничена рубежами 590 млн. лет (граница венда — раннего

кембрия) и 285 млн. лет (граница позднего карбона — ранней перми) и составляет 305 млн. лет.

Определение траектории движения палеомагнитного полюса. Объяснение разброса палеомагнитных полюсов относительными смещениями материков и их частей нередко [6, 8, 9, 10, 16] представляется более правдоподобным, поскольку оно не требует пересмотра представлений о единстве магнитной и географической осей и согласуется с получившимися распространение идеями мобилизма и новой глобальной тектоники.

К интерпретации наблюдаемого разброса одновозрастных палеомагнитных полюсов можно подойти также учитывая сравнительно быстрые их движения и медленные движения палеогеографических полюсов, признавая существование пространственных и физических связей между движениями палеогеографических и палеомагнитных полюсов. Эта интерпретация основана на анализе пространственного расположения палеомагнитных полюсов [10, 11, 12, 13], ставящим своей целью: а) нахождение закономерностей в расположении палеомагнитных полюсов близкого возраста (одного периода или эпохи); б) нахождение закономерностей в расположении областей распространения палеомагнитных полюсов всех выделенных возрастных интервалов. Построения проводились на глобусе масштаба 1 : 10 000 000, поскольку карты для этих целей непригодны, из-за искажений, связанных с особенностями проекций.

Оказалось, что выделенные возрастные группы палеомагнитных полюсов образуют на площади вытянутые эллипсы шириной 20—40° и длиной 55—90°. Наибольшее число палеомагнитных полюсов приходится на контуры эллипсов. Палеомагнитные полюса раннего кембрия, перми и палеогена образуют по четыре эллипса, а палеомагнитные полюса позднего кембрия, ордовика — силура, девона — карбона, а также триаса, юры и мела по одному эллипсу. По пространственному положению — приуроченности к определенным площадям — выделяются три группы эллипсов: венд/ранний кембрий — поздний карбон/ранняя пермь, поздний карбон/ранняя пермь, поздний мел/палеоген и поздний мел/палеоген — настоящее время. В первой и второй группах находится по семь эллипсов, а в третьей (самой поздней) — только пять.

Ниже приводится выборка палеомагнитных полюсов, расположенных по контурам эллипсов их распределения в последовательности, отвечающей виткам движения палеомагнитного полюса [10, 11]. Материки, по породам которых даны определения положений палеомагнитного полюса, указаны цифрами в скобках (знак б на рис. 1): а — Европа, б — Азия, в — Индия, г — Африка, д — Северная Америка, е — Южная Америка, ж — Австралия, з — Антарктида. Возраста даны геологическим индексом, порядковая цифра определений повторена на рис. 1.

Е: N1—15°W, 15°N(г); N2—22°W, 15°N(е); N3—50°W, 27°N(е); N4—54°W, 41°N(б); N5—40°W, 68°N(ж); N6—25°W, 54°N(е); N7—20°W, 46°N(а); N8—6°E, 23°N(д); N9—40°E, 40°N(з); N10—34°E, 53°N(б); N11—27°E, 22°N(д); N12—7°E, 8°N(а); N13—34°E, 9°S(ж); N14—39°E, 15°S(д); N15—26°E, 36°S(ж); N16—32°E, 28°S(в); N17—19°E, 34°S(ж); N18—13°E, 34°S(а); N19—23°W, 40°S(а); N20—15°W, 18°S(а); N21—55°W, 47°S(д); N22—16°E, 1°S(а); N23—47°W, 8°N(б); N24—40°W, 8°N(е); N25—22°W, 0°(д); N26—16°E, 1°S(а); N27—31°W, 16°S(а); N28—56°W, 10°S(д); N29—58°W, 10°N(а).

О: N30—53°W, 22°N(б); N31—37°W, 31°N(е); N32—27°W, 21°N(а); N33—22°W, 9°N(е); N34—1°W, 16°S(а); N35—10°E, 28°S(з).

С: N36—20°W, 40°S(а); N37—40°W, 16°N(б).

Д: N38—39°W, 10°N(а); N39—24°W, 4°N(б); N40—23°W, 24°S(б).

С: N41—41°W, 37°S(д); N42—54°W, 37°S(а); N43—53°W, 43°S(д).

Р: N44—131°E, 45°N(а); N45—136°E, 65°N(е); N46—130°E, 74°N(е); N47—39°E, 78°N(е); N48—103°E, 47°N(д); N49—87°E, 0°(г); N50—89°E, 27°S(г); N51—115°E, 34°S(в); N52—128°E, 35°S(ж); N53—128°E, 3°N(а); N54—130°E, 19°N(а); N55—130°E, 21°N(в); N56—129°E, 32°N(д); N57—139°E, 19°N(а); N58—159°E, 10°N(а); N59—164°W, 16°N(а); N60—170°W, 40°N(а); N61—162°E, 40°N(а); N62—175°W, 45°N(а); N63—158°W, 48°N(а); N64—119°W, 53°N(а); N65—176°W, 59°N(а); N66—152°, 60°N(а).

Т: N67—86°E, 74°N(е); N68—101°E, 62°N(а); N69—107°E, 57°N(д); N70—162°E, 27°N(а).

Ж: N71—124°E, 82°N(а); N72—53°E, 73°N(а); N73—35°E, 62°N(а); N74—60°E, 38°N(а); N75—77°E, 49°N(а); N76—115°E, 54°N(а); N77—175°E, 51°N(а).

К: N78—165°E, 78°N(а); N79—145°E, 81°N(б); N80—85°E, 82°N(а); N81—153°E, 68°N(е); N82—177°E, 81°N(а); N83—112°W, 66°N(е).

Р: N84—95°W, 32°N(в); N85—77°W, 23°N(в); N86—54°W, 20°N(в); N87—49°W, 37°N(д); N88—51°E, 82°N(а); N89—34°E, 83°N(з); N90—115°E, 72°N(а); N91—170°W, 76°N(а); N92—153°W, 77°N(г); N93—114°W, 77°N(а); N94—104°W, 73°N(д); N95—84°W, 71°N(ж); N96—171°W, 68°N(д); N97—121°W, 66°N(д); N98—54°W, 70°N(ж).

Н: N99—76°W, 64°N(б); N100—62°W, 73°N(б).

Из приведенной выборки видно, что разновозрастные палеомагнитные полюса, определенные по разным материкам, расположены попеременно и ближайшими палеомагнитными полюсами часто оказываются установленные не по одному материка, а по разным. Вместе с тем отдельные возрастные группы палеомагнитных полюсов образуют вполне конкретные эллипсы, характеризующиеся размерами и пространственной ориентацией их длинных осей.

Расположение палеомагнитных полюсов по контурам эллипсов может рассматриваться как свидетельство того, что они отвечают виткам траектории движения палеомагнитного полюса. При выявлении этой траектории следует учитывать, что витки должны находиться в нормальной возрастной последовательности. В такой последовательности они могут быть соединены семейством дуг, перпендикулярных длинным осям эллипсов. Это семейство дуг оказывается совокупностью спиралей, которые с одной стороны ограничены точками пересечения длинных осей эллипсов, а с другой — наиболее удаленными от них частями этих эллипсов.

Спирали траектории палеогеографического полюса занимают в семействе спиралей, пересекающих эллипсы (витки) палеомагнитного полюса, крайние положения, проходя по оконча-

ниям этих эллипсов. Такое расположение витков палеомагнитного полюса по отношению к траектории палеогеографического полюса может быть объяснено как следствие периодического отклонения палеомагнитного полюса от палеогеографического при его движении по своей траектории, что видно на рис. 1.

Рис. 3 показывает периодическое, имеющее характер синусоиды, отклонение палеомагнитного полюса от палеогеографического с периодом в 60° и амплитудой от 5 до 90° , возрастающей от первого витка до четвертого и снова падающее к последнему seventhому витку.

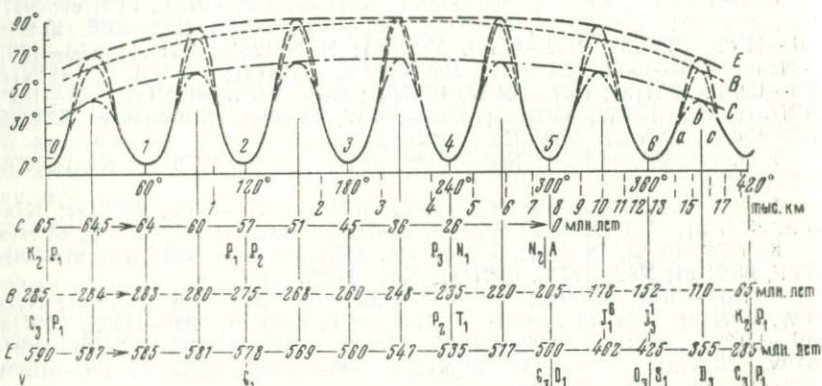


Рис. 3. График отклонений палеомагнитного полюса от спиралей траектории палеогеографического полюса (отклонения указаны в градусах по оси ординат):

Е — отклонения от палеозойской спирали, *В* — отклонения от мезозойской спирали, *С* — отклонения от кайнозойской спирали; 0, 1, 2, 3... — номер отпечатка глобального ротационного поля напряжений (остальные объяснения в тексте)

При анализе выявилось также, что известные для верхнего палеозоя, мезозоя и кайнозоя [4, 10] периоды обратной полярности (*R*-периоды) и сопутствующие им периоды неустойчивого магнитного поля (*RN*-периоды) отвечают моментам наибольшего и наименьшего расхождения палеомагнитного и палеогеографического полюсов (рис. 4, табл. 2). Частота их повторяемости, высокая в начале спирали траектории палеогеографического полюса, падает к ее окончанию. Это позволяет распространить установленную закономерность и на более ранние этапы движения географических и магнитных полюсов, в том числе на ранний палеозой, что качественно хорошо подтверждается данными А. Н. Храмова [10], В. П. Родионова и Э. П. Осипова [4].

Возможные причины движения географических и магнитных полюсов. Описанные траектории движения палеогеографического и палеомагнитного полюсов подчиняются хорошо выраженным пространственным закономерностям, что указывает на существование единого механизма движения географических и магнитных полюсов.

Шкала обращений магнитного поля

Индекс отпечатка глобального ротационного поля напряжений	Индекс геологической шкалы	Возраст экстремальных положений палеомагнитного полюса, в млн. лет (данные автора)	Возраст обращения магнитного поля [4, 5, 10]
Q ⁵	A	1,5	0,73 млн. лет (данные Куликова, Фаустова, Ильичева) Апшерон (данные Гурария, Певзнера, Трубихина)
	N ₂		
		14	14,3—12,3 млн. лет (данные Михайловой, Глевасской, Цикоры)
C ⁴		26±1	Ранний миоцен (данные Пенькова, Гамова)
	P ₃	36	
C ³		45	Поздний эоцен
	P ₂	51	
C ²		57	Палеоцен — ранний эоцен (данные Гасанова, Исмаил-заде)
		60	
C ¹	P ₁	64	
		64,5	Палеоцен (данные Пергамента, Печерского и Храмова)
C ⁰ (B ⁷)		65±3	
		76	
B ^{6c}	K ₂	87	Сантон
		98	Турон
B ^{6b}		110	Альб (данные Пергамента, Печерского и Храмова, Гаджиева, Каркошкина, Алексеева и Назарова)

Индекс отпечатка глобального ротационного поля напряжений	Индекс геологической шкалы	Возраст экстремальных положений палеомагнитного полюса, в млн. лет (данные автора)	Возраст обращения магнитного поля [4, 5, 10]
B_{6a}	K_1	120	Валанжин
	K_1	131	
B^6	J_3	141	Кимериды (данные Пергамента, Печерского и Храмова) Келловей Нижний бат Нижний байос } данные Храмова, Гаджиева, Каркошкина, Алексева
		152 ± 5	
	J_2		
	J_1	178	Доммер — тоар (данные Пергамента, Печерского и Храмова)
B^5	T_3	205	Рэтский век (данные Пергамента, Печерского и Храмова)
	T_2		
		220	Карнийский век
B^4	T_1	235 ± 10	Оленекский век (данные Боронина, Храмова, Гончарова) Индский век (данные Комиссаровой и др.)
B^3	P_2	248	Татарский век Уфимский век } данные Боронина
		260	

Индекс отпечатка глобального ротационного поля напряжений	Индекс геологической шкалы	Возраст экстремальных положений палеомагнитного полюса, в млн. лет (данные автора)	Возраст обращения магнитного поля [4, 5, 10]	
$B^0 (E^7)$	P_1	268		
		275		
		280		
		283 ± 10		
		284		
E^{6c}	C_3	285	Оренбургский век	
	C_2	300	Московский век — 2 обращения	
	C_1	318	Башкирский век — 4 обращения	
	C_1	337	Намюрский век	
E^{6b}	C_1	337		
	D_3	355		Франский век
	D_2			
E^{6a}	D_1	374	Живетский век Кобленцкий век	
		393 ± 10		
E^6		409	Жединский век	
		425 ± 15	Венлокский век	
	O_3	462		
	O_2			

данные Храмова, Гончарова, Комиссаровой и др.

Индекс отпечатка глобального ротационного поля напряжений	Индекс геологической шкалы	Возраст экстремальных положений палеомагнитного полюса, в млн. лет (данные автора)	Возраст обращения магнитного поля [4, 5, 10]
E^5	O_1	500 ± 20	
	ϵ_3	517	
E^4		535	
	ϵ_2	547	
E^3		560	
		569	
E^2		578	
	ϵ_1	581 ± 30	
E^1		585	
		587	
E^0		590	
	V		

Географические полюса являются выходами на поверхность Земли оси ее вращения, а движение этой оси — это фактически смещение относительно оси тела Земли или ее внешней сферы — оболочки, или корового слоя. Тесная связь движений географического и магнитного полюсов указывает на то, что относительное смещение земных сфер происходит там, где генерируются токи, ответственные за магнитное поле Земли — по границе ядра и оболочки.

По поводу причин описанных движений оболочки можно высказать следующую гипотезу. Под действием приливного трения происходит поворот оболочки вокруг ядра в сторону, противоположную вращению Земли. Это приводит к разогреванию слоя на границе ядра и оболочки, наибольшему в экваториальном поясе, где линейные скорости их относительно вращения выше. В результате в экваториальном поясе оболочка испытывает относительное утонение, а в полярных областях — утолщение (возник-

новение там избыточных масс). Центробежные силы вращения вызывают смещение этих масс к экватору, и вместе с этим поворот всей оболочки. Далее возникают новые избыточные массы, и процесс повторяется.

Такое объяснение находит свое подтверждение в интерпретации кривой средней скорости движения палеогеографического полюса (см. рис. 4). Эта кривая на отрезках, отвечающих спиральям *E*, *B* и *C*, имеет два максимума ($\rho=0-8^\circ$ и $\rho=25-33^\circ$). Как следует из рис. 5, первый максимум можно связать с высокой скоростью поворота оболочки вокруг оси, близкой оси вращения Земли (ρ мало) под действием силы приливного торможения, равной $f_1 = a\rho^{-b}e^{-c\rho}$. Второй максимум отвечает возрастанию скорости смещения избыточной массы под действием центробежной силы, максимум которой приходится на $\rho=45^\circ$, но под действием первой силы оказывается смещенным к $\rho=25-33^\circ$. Центробежная сила может быть выражена уравнением $f_2 = A\sin^2\rho$. Избыточные массы предшествующих этапов, стремясь сохранить приобретенное ранее экваториальное положение, оказывают влияние на направление поворота новых избыточных масс и на скорость движения палеогеографического полюса, определяя ее периодичность в 60° (φ) поворота спирали.

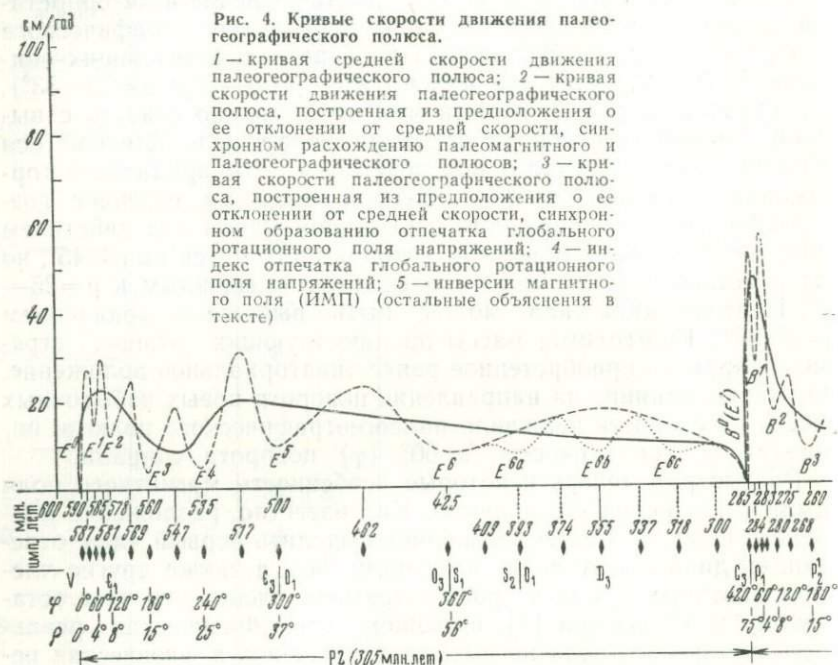
Рассмотрим теперь некоторые особенности магнитного поля Земли и движения его полюсов. Как известно, разложение магнитного поля, по Гауссу, позволяет выделить первый член, отвечающий дипольному полю, имеющему ось, а также другие члены, из которых сумма второго и третьего членов отвечает остаточному полю Бауэра [7], имеющему ось. Физическая реальность дипольного поля не вызывает сомнений, а физическая реальность поля Бауэра большинством исследователей не признается.

При интерпретации природы поля Бауэра заслуживает внимания тот факт, что его ось, один из полюсов которой располагается на севере Южной Америки (знак 9 на рис. 1), отвечает современной оси поворота оболочки. Она является осью суммарного вращения: 1) относительно оси, проходящей через избыточные массы; 2) относительно оси, перпендикулярной плоскости, проходящей через избыточные массы и географические полюса.

Если оси поля Бауэра придать смысл оси поворота оболочки, то геомагнитную ось по аналогии можно рассматривать как вторую ось вращения оболочки или, что удобнее при описании, как ось вращения ядра. Она располагается вблизи географической, испытывая относительно ее сложное вращение, периодичность которого составляет 1500, 500, а возможно и меньшее число лет [14].

Периодам совпадения или близкого расположения магнитной и географической осей при φ , равных $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ, 360^\circ, 420^\circ$, отвечает уменьшение скорости движения географического полюса, что приводит к образованию в земной коре

отпечатка ротационного поля напряжений, и возрастание роли геомагнитного поля в его сумме с полем Бауэра. Это является следствием уменьшения угловой скорости вращения оболочки

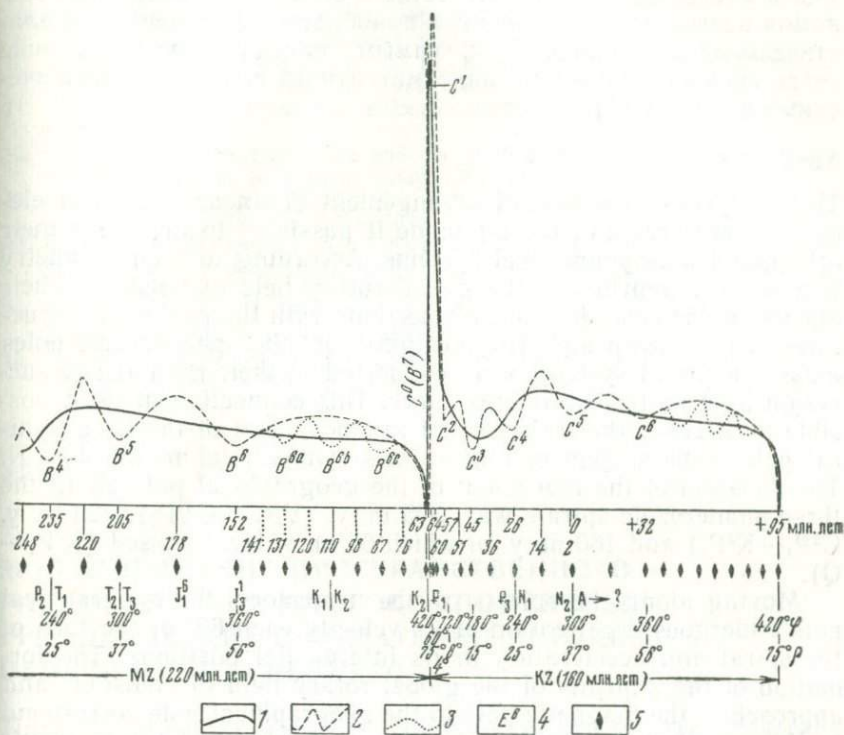


вокруг ее экваториальной оси, отвечающей оси поля Бауэра. Вероятно, образование отпечатков ротационного поля напряжений при φ , равных 375° , 390° , 405° , также происходит при замедлении скорости движения географического полюса и некотором приближении магнитного полюса к географическому.

Периоды возрастающего расхождения магнитной и географической осей совпадают с увеличением скорости движения географического полюса и возрастанием роли поля Бауэра в его сумме с геомагнитным полем. Это является следствием увеличения угловой скорости вращения оболочки вокруг ее экваториальной оси, отвечающей оси поля Бауэра.

Геологические и тектонические циклы. Рассмотрение траекторий движения палеогеографического и палеомагнитного полюсов позволяет сделать вывод, что спирали E , B и C палеогеографического полюса отвечают трем эрам: палеозойской, мезозойской и кайнозойской. Максимумы изменения органического мира отвечают границам спиралей и соответствующих им эр, когда наблюдается наибольшая частота инверсий. Это

позволяет предположить, что инверсии магнитного поля выполняют роль отбора и являются одной из причин изменчивости в эволюции. Кроме того, движение географического полюса пе-



риодически изменяет в глобальном масштабе расположение климатических поясов, что усиливает эти процессы. Образное выражение Мак Ларена, что существуют геологические границы, когда «что-то случилось» (something happened), находит свое объяснение в этих связях [15]. Уменьшение длительности эр от архея к кайнозой, вероятно, связано с увеличением скорости движения географического полюса от одной спирали его траектории к другой в результате разогревания и уменьшения вязкости слоя на границе ядра и оболочки.

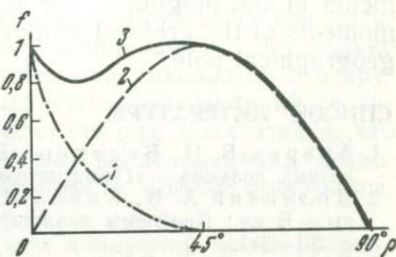


Рис. 5. Кривые изменения сил приливного трения (1), центробежных (2) и суммарных (3) сил с удалением предполагаемой избыточной массы от географического полюса

Эпохи формирования региональных структур и складчатости в обрамляющих их подвижных поясах отвечают эпохам за-

медленного движения географического полюса, при φ , равных 0° , 60° , 120° , 180° , 240° , 300° , 360° и 420° , когда земная кора благодаря длительному воздействию ротационного поля напряжений в местах совпадения его сетки с сеткой существующих разломов испытывает дробление и приобретает способность к пластическому смещению. Тем самым находит свое объяснение связь скорости движения палеомагнитного полюса с тектоническими циклами [1].

ABSTRACT

The analysis of the spatial arrangement of linear structural elements (fractures and faults) made it possible to discover their orthogonal axissymmetrical systems. According to their geometry they are the imprints of the global rotary field of tensions. Their age can be detected by their connections with the geological structures of the known age. The positions of the phanerozoic poles axissymmetrical systems were connected in their normal age succession by a united continuous curve. This connection made it possible to discover the trajectory of the movement of the geographical pole — the system of four spirals symmetrical to the axis N. The duration of the movement of the geographical pole along the three phanerozoic spirals was: 305 m. y. ($V/E_1-C^3/P_1$), 220 m. y. ($C^3P_1-K^3P_1$) and 160 m. y. of which 65 m. y. have passed (K^3P_1-Q).

Moving along the spirals of the trajectory the geographical pole undergoes deceleration of its velocity each 60° of the turn of the spiral and acceleration in its intermedial positions. The formation of the imprints of the global rotary field of tension and approach of the magnetic pole to the geographical pole correspond to the period of deceleration and the withdrawal of the magnetic pole from the geographical pole correspond to the period of acceleration. Geomagnetic reversals (R-period) correspond to the moments of the magnetic pole to the geographical pole and to the moments of the greatest withdrawal of the magnetic pole from the geographical pole.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарин В. П., Веденков В. С. О скорости перемещения палеомагнитных полюсов.— «Геомagnetизм и астрономия». 1973, № 4, с. 500—505.
2. Долицкий А. В., Кийко И. А. О причинах деформации земной коры.— В кн.: Проблемы планетарной геологии. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 291—311.
3. Долицкий А. В. Осевая симметрия линейных структурных элементов.— «Докл. АН СССР», 1967, т. 177, № 1, с. 159—162.
4. Материалы IX конференции по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. Т. 3. Баку, 1973, 168 с.
5. Пергамент М. А., Печерский Д. М., Храмов А. Н. О палеомагнитной шкале мезозоя.— «Изв. АН СССР, сер. геол.», 1971, № 10, с. 12—21.

6. Петрова Г. Н., Храмов В. Н. Палеомагнетизм и внутреннее строение Земли.— «Изв. АН СССР, сер. Физика Земли», 1970, № 4, с. 65—83.
7. Пудовкин И. М. Пространственная структура геомагнитного поля и некоторые вопросы изучения внутреннего строения Земли.— «Геомагнетизм и аэрономия», 1964, № 4, с. 762—772.
8. Стейси Ф. Физика Земли. М., «Мир», 1972. 191 с.
9. Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., «Недра», 1973. 449 с.
10. Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А. Палеомагнетизм палеозоя. Л., «Недра», 1974. 238 с.
11. Creer K. M. A review of paleomagnetism.— *Earth—Sci. Rev.*, 1970, 6, p. 369—466.
12. Irving E. *Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems*: New York, Wiley, 1964, 399 p.
13. Irving E., Park J. K. Hairpins and Superintervals. — „*Canadian Journ. of Earth Sci.*“, 1972, 9, p. 1318—1324.
14. Kawai N., Hirooka K., Tokieda K. A vibration of geomagnetic axis around the geographic north pole in the historical time. „*Earth and Planet Sci.*“, 1967, 3, p. 48—49.
15. Mc Laren D. J. Presidential address: time, life and boundaries. — „*Journ. Paleontol.*“, v. 44, N 5, 1970, p. 801—815.
16. Runcorn S. K. Towards a theory of continental drift. — „*Nature*“, London, 1962, v. 193, N 4813, p. 311—314.

УДК 551 : 517

В. Г. Иванченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ОБОБЩЕННОГО СРЕДНЕГО

Пространственные модели многокомпонентных геологических показателей могут быть использованы во многих разделах геологии [3, 4]. Задача построения модели пространственного распределения геологических показателей является частным случаем задачи аппроксимации, многократно обсуждавшейся математиками. Для решения последней привлекаются не только данные эмпирических наблюдений, что практиковалось и в других работах, но и факторы интуитивных представлений геологов о поведении в пространстве геологических показателей, что является новым элементом в подобных исследованиях, позволяющим расширить границы применимости модели пространственной геологической изменчивости.

Задачу аппроксимации дискретных измерений можно формулировать как задачу восстановления функции в некотором пространстве, если известно приближенное значение функции на ограниченном множестве точек из этого пространства.

Рассмотрим интуитивный подход к восстановлению функции. Если в какой-либо точке u_1 одномерной исследуемой области известно количественное значение некоторого геологического при-

знака x_1 , то говорят, что в данной точке u_1 проведено измерение. Интуиция подсказывает, что можно сделать предположение относительно существования закономерности в некоторой окрестности точки u_1 . По двум значениям геологического признака x_1 и x_2 в точках u_1 и u_2 можно получить некоторую оценку значений функции в исследуемой области пространства. Естественно предположить, что в интервале $[u_1, u_2]$ изучаемый признак изменяется по линейному

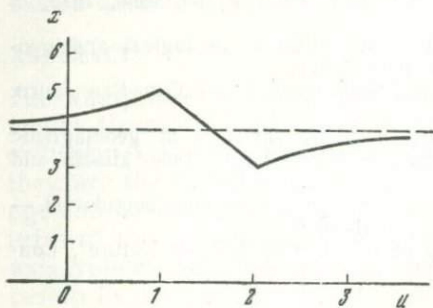


Рис. 1. График функции $x_t = f_t(u_t)$

закону, так что в точках измерения u_1 и u_2 принимают значения x_1 и x_2 .

Чтобы найти значение геологического признака x_t в произвольной точке u_t , необходимо составить пропорцию и решить ее относительно x_t :

$$x_t = \frac{x_1(u_t - u_1) + x_2(u_2 - u_t)}{1/(u_t - u_1) + 1/(u_2 - u_t)}.$$

Коэффициенты при x_1 и x_2 в области $u_1 < u_t < u_2$ можно рассматривать как весовые коэффициенты, так как они положительны и их сумма равна единице.

Потребуем сохранения условий восстановления значений геологического признака не только в точках u_t , расположенных на прямой, при этом $u_1 < u_t < u_2$, но и в других точках. Отсюда

$$x_t = \frac{x_1/|u_t - u_1| + x_2/|u_2 - u_t|}{1/|u_t - u_1| + 1/|u_2 - u_t|}. \quad (1)$$

На рис. 1 показан график функции $x_t = x_t(u_t)$ для точек $u_1=1, u_2=2, x_1=5, x_2=3$, вычисленной по формуле (1).

Обобщая (1) для точек одномерного пространства, получаем

$$x_t = \sum_{i=1}^n p_{ti} x_i, \quad (2)$$

где

$$p_{ti} = \frac{1/|u_t - u_i|}{\sum_{i=1}^n 1/|u_t - u_i|}.$$

Формулу (2) можно распространить и на многомерное пространство. В качестве расстояния r_{ti} можно рассматривать норму вектора в пространстве, начало которого находится в точке t , а конец — в точке i .

Форма записи весов p_{ti} для любого конечномерного евклидова пространства сохраняет вид

$$p_{ti} = \frac{1}{r_{ti}} \left/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ti}} \right.,$$

но под r_{ti} следует понимать расстояние в соответствующем пространстве.

Для того чтобы избежать изломов восстановленной функции в точках измерения, не усложняя ее чрезмерно (изломы видны на рис. 1), можно использовать квадрат расстояния, тогда

$$p_{ti} = \frac{1}{r_{ti}^2} \left/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ti}^2} \right. \quad (3)$$

Однако кривая (2), где p_{ti} определяется по (3), точно проходит по всем точкам измерения, т. е. принимает в точках измерения значение измеренного признака. В действительности такой случай встречается крайне редко, так как измеренные значения признака всегда содержат некоторую ошибку, и при измерении геологического признака необходимо изменить вес измерений. Введение величины a в (3) следующим образом

$$p_{ti} = \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2} \left/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2} \right. \quad (4)$$

позволяет в широких пределах менять веса измерений при управлении с помощью одной переменной.

Итак, рассмотрение интуитивного аспекта восстановления функции по отдельным точкам приводит к следующей простой формуле

$$x_i = \sum_{i=1}^n p_{ti} x_i, \quad (5)$$

где

$$p_{ti} = \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2} \left/ \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2} \right.$$

Для дальнейшего необходимо уточнить постановку задачи. Не ограничивая общности, можно рассмотреть некоторую область ω двумерного евклидова пространства, в каждой точке (u, v) которой определена неизвестная детерминированная функция $d(u, v)$, подлежащая восстановлению, и некоторая случайная величина $\varepsilon(u, v)$. Относительно всех случайных величин $\varepsilon(u, v)$ можно предположить, что они в каждой точке области ω подчиняются одному и тому же нормальному закону распределения $N(e, \sigma)$, где $e = M\varepsilon(u, v) = 0$ — математическое ожи-

дание случайной величины $\varepsilon(u, v)$, $\sigma = D\varepsilon(u, v)$ — дисперсия случайной величины $\varepsilon(u, v)$.

В результате измерения геологического признака наблюдаются значения случайной величины $\varepsilon_i = \varepsilon(u_i, v_i)$, каждое из которых является суммой значения детерминированной функции $d_i = d(u_i, v_i)$ и случайной величины $\varepsilon_i = \varepsilon(u_i, v_i)$. Обозначим через x_{ki} значение случайной величины ε_i , полученное в результате k -го измерения геологического признака; через e_{ki} — значение случайной величины ε_i , соответствующее k -ому измерению геологического признака. Тогда имеет место соотношение $x_{ki} = d_i + e_{ki}$, $k = 1, 2, \dots, m_i$; $i = 1, 2, \dots, n$, где m_i — число измерений в точке (u_i, v_i) . В задаче требуется определить функцию $d(u, v)$ по числам x_{ki} . В точках измерения хорошей оценкой для d_i может служить средняя величина

$$\frac{1}{m_i} \sum_{k=1}^{m_i} x_{ki}.$$

если m_i достаточно велико.

Однако в геологических исследованиях каждое измерение может потребовать затраты значительных средств (например, при получении информации с помощью буровых работ), поэтому следует ориентироваться на малые значения m_i . Рассмотрим сначала случай $m_i = 1$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Из определения случайной величины ε_i следует, что математическое ожидание $M\varepsilon_i$ равно d_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Таким образом, оценка математического ожидания случайной величины ε_i в то же время является приближенным значением для d_i . Если для точки i известно лишь одно измерение, то оценка математического ожидания случайной величины ε_i может быть получена по формуле (5). Но вес в (5) зависит от параметра a , и поэтому можно предложить бесчисленное множество оценок для $M\varepsilon_i$ при разных a .

Можно ввести критерий [1], позволяющий выбрать «наилучшую» оценку на основе статистических свойств геологических данных при минимизации величины $S(a)$, равной

$$S(a) = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \hat{x}_i)^2}{s^2} - n + 2 \right], \quad (7)$$

где \hat{x}_i , $i = 1, 2, \dots, n$, определяется по формуле

$$x_i = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{r^2_{ij} + a^2} / \sum_{j=1}^n \frac{1}{r^2_{ij} + a^2}, \quad (8)$$

являющейся частным случаем формулы (5) при замене индексов $i \rightarrow j$, $t \rightarrow i$. Выбор величины a является единственным при достаточно малом a , так как сумма в (7) монотонно зависит от

$a[4]$. В формуле (7) s^2 — несмещенная эффективная оценка дисперсии σ^2 .

Ранее случай $m_i > 1$ был оставлен без рассмотрения. Пусть теперь в некоторой точке i с координатами (u, v) произведено несколько измерений $m_i > 1$ и получены следующие значения геологического признака $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{m_i i}, i=1, 2, \dots, n$. Полагая каждое значение x_{ki} самостоятельной точкой, можно перенумеровать все полученные значения $x_{ki}, i=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, m_i$, т. е. рассматривать по предыдущему значения x_{1j} , где $j=1, 2, \dots, N$, причем $N = \sum_{i=1}^n m_i$. Легко заметить, что все выкладки при

этом остаются в силе, если заменить n на N .

Коэффициенты линейной формы для x_t являются положительными нормированными величинами, что позволяет трактовать каждый коэффициент как вес влияния значения геологического признака в точке с индексом j на значение признака в точке с индексом t , а функцию x_t — как некоторую усредненную величину. В этом смысле предложенную математическую модель можно назвать моделью обобщенного среднего.

Для каждой точки t , в которой необходимо восстановить значение геологического признака, по геологическим соображениям иногда можно указать такой круг радиуса R , за пределами которого не имеет смысла производить геологическое опробование.

Пусть величина R удовлетворяет условию

$$R > \max_{i,j} (r_{ij}).$$

В дополнение к N измерениям рассмотрим фиктивные точки с индексом φ , $\varphi \in (0, 1)$, такие, что для любого фиксированного t имеют место следующие соотношения:

- 1) для любой точки φ расстояние $r_{t\varphi} > R$, при этом $x_\varphi = 0$.
- 2) если $\varphi_1 \neq \varphi_2$ для двух фиктивных точек φ_1 и φ_2 , то $r_{t\varphi_1} \neq r_{t\varphi_2}$.
- 3) если $r \in (R, \infty)$, то существует φ такое, что $r_{t\varphi} = r$.

Учитывая свойства фиктивных точек φ , при $a=0$ получим формулу, пригодную для интерполяции и экстраполяции геологического признака локального объекта

$$x_t = \sum_{j=1}^N \frac{x_{1j}}{r_{tj}^2} / \left(\frac{1}{R} + \sum_{j=1}^N \frac{1}{r_{tj}^2} \right). \quad (11)$$

Аналогично получаем аппроксимационную формулу для локального объекта при $a \neq 0$

$$x_t = \sum_{j=1}^N \frac{x_{1j}}{r_{tj}^2 + a^2} / \left(\frac{\pi}{2a} - \frac{1}{a} \arctg \frac{R}{a} + \sum_{j=1}^N \frac{1}{r_{tj}^2 + a^2} \right). \quad (12)$$

Можно показать [1], что полученные выражения (11) и (12) действительно обладают необходимыми свойствами, реализующими принцип локальности месторождений.

Для однокомпонентного геологического признака автором была написана программа «Тренд-1» на АЛГОЛе, реализованная в Вычислительном центре АН СССР на ЭВМ типа БЭСМ-6

с транслятором АЛГОЛ-БЭСМ-6. Исходные данные содержали 15 точек опробования, в которых «геологический признак» изменялся от 0,5 до 30 на оконтуренной площади.

На рис. 2 представлен результат расчета геологического признака по программе «Тренд-1», автоматически вычерченный в виде карты графопостроителем типа Calcomp. При расчете предполагалось, что в каждой точке дисперсия признака одинакова для всех точек и равна 2.

Перейдем к рассмотрению многокомпонентных систем. Формула (5) для набора геологических признаков будет иметь вид

$$X_t = \sum_{i=1}^n p_{ti} X_i, \quad (13)$$

где $X_t = \{^1x_t, ^2x_t, \dots, ^kx_t\}$,
 $X_i = \{^1x_i, ^2x_i, \dots, ^kx_i\}$,

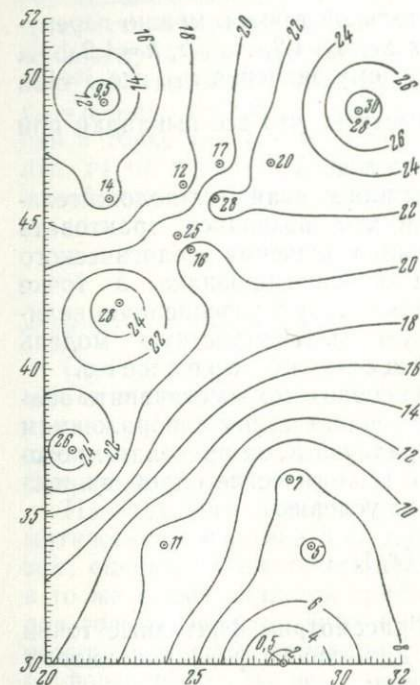


Рис. 2. Поверхность (см. изолинии), изображающая изменение геологического признака

$^1x_t, ^2x_t, \dots, ^kx_t$ — k значений геологических признаков в точке с индексом t ,

$^1x_i, ^2x_i, \dots, ^kx_i$ — k значений геологических признаков, полученных в результате однократного опробования в i -ой точке.

Веса остаются неизменными и определяются с помощью соотношения

$$p_{ti} = \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{ti}^2 + a^2}.$$

Предполагая, что измерения X_i подчиняются многомерному нормальному закону распределения $N(E, \Sigma)$, где E — математи-

ческое ожидание случайного вектора ε , Σ — матрица дисперсий, параметры E и Σ — многомерные аналоги параметров e и σ для одномерного распределения, можно найти, что управляющий параметр a при больших n определяется из условия минимума выражения

$$S(a) = \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^T \Sigma^{-1} (X_i - \hat{X}_i) - nk \right],$$

где \hat{X}_i определяются также, как и в одномерном случае:

$$\hat{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{r^2_{ii} + a^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r^2_{ii} + a^2}}.$$

Интересным свойством обладает оценка X_t набора содержаний химических элементов, которые часто используются для характеристики геологических данных. Нетрудно показать, что для точки t , в которой восстанавливаются значения геохимических содержаний X , имеет место соотношение

$${}^1x_t + {}^2x_t + \dots + {}^kx_t = 1.$$

Рассмотрим конкретный пример интерполяции и экстраполяции геохимических признаков в трехмерном пространстве по содержаниям химических окислов в четырех пробах.

В табл. 1 приведены исходные данные геохимических проб по четырем скважинам, имеющие координаты положения u , v , глубину взятия проб w . Результаты вычислений по формуле (13) при $a=0$ в точке интерполяции с координатами 200, 250, 30 и в точке экстраполяции с координатами 500, 1000, 100 записаны в табл. 2.

Таблица 1

№ п/п	u	v	w	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
1	120	400	50	0,70	0,1	0,1	0,15	0,05
2	330	350	40	0,6	0,15	0,05	0,06	0,04
3	210	290	20	0,8	0,1	0,07	0,02	0,01
4	130	70	40	0,7	0,2	0,08	0,01	0,01

Таблица 2

№ п/п	u	v	w	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
5	200	250	30	0,78	0,11	0,07	0,02	0,023
6	500	1000	100	0,69	0,13	0,05	0,04	0,03

С помощью упоминавшейся ранее программы получены удовлетворительные результаты при восстановлении в трехмерном пространстве картины распределения окислов, сопутствующих бокситовому месторождению.

Выводы

1. Предложенные методы построения модели, основанные на формализации интуитивных представлений о близости, дают возможность количественно учесть опыт геологов при решении задачи моделирования пространственного распределения многокомпонентных геологических показателей.

2. Построенная модель пространственного распределения многокомпонентных геологических показателей может быть использована в более широких масштабах для решения различных геологических задач по сравнению с ранее использовавшимися моделями, так как она отвечает специфике геологических представлений.

3. Показана возможность моделирования геохимических полей по данным о содержаниях в местах отprobования.

4. При моделировании пространственных закономерностей геологии рассмотренные методы восполняют методы для области экстраполяции в одномерном и двухмерном координатном пространствах, методы аппроксимации многокомпонентных количественных показателей в многомерном координатном пространстве.

ABSTRACT

The paper deals with mathematical description of a model of intuitional behaviour of a man under conditions of uncertainty when reconstructing a continuous function; euristic generalization of the model based on mathematical statistics; algorithm for selecting a leading parameter. The result of the model application, i. e. the geologic map drawn by the computer program on the basis of the given algorithm is shown.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванченко В. Г. Математическое описание некоторой модели аппроксимации геологических данных.— «Экспресс-информация, серия Мат. методы исследований в геологии», вып. 1. М., ВИЭМС, 1975, 19 с.
2. К а ж д а н А. Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М., «Недра», 1974. 271 с.
3. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960. 672 с. Под общ. ред. В. И. Смирнова и А. П. Прокофьева. Авт.: Смирнов В. И., Прокофьев А. П., Борзуков В. М. и др.
4. У и л к с С. Математическая статистика. М., «Наука», 1967. 632 с.

*С. Н. Симаков, М. Д. Белонин, В. М. Омелин,
Ю. В. Подольский, И. В. Татарин*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫМИ РАБОТАМИ НА НЕФТЬ И ГАЗ

Автоматизированная система управления геологоразведочными работами на нефть и газ (АСУ-Нефтегазразведка) была выделена как подсистема АСУ-Геология для решения группы взаимосвязанных задач различных стадий изучения нефтегазоносности территории СССР и всех уровней управления геологоразведочными работами на нефть и газ.

С целью выяснения оптимальной структуры и содержания АСУ-Нефтегазразведка была построена модель производства геологоразведочных работ на нефть и газ, выявлены основные задачи системы, способы, методы и уровни их реализации. Решение этих вопросов проводилось с позиции теории систем [4] путем анализа всего объема геологоразведочных работ в трех взаимосвязанных аспектах: 1) по уровням описания или абстрагирования (выделение «страт»), 2) по уровням сложности применяемых решений (выделение «слоев»), 3) по организационным уровням (выделение «эшелонов»).

Проведенные исследования показали следующее:

— управление работами на нефть и газ имеет многоуровневую структуру и состоит из взаимосвязанных иерархических подсистем организационного управления. Каждая из этих подсистем имеет право принимать решения в объеме своей компетенции и активно вмешиваться в действия подсистем более низкого звена на уровне целей, представлений (моделей) и ограничений. На нижнем уровне управления могут быть выделены технологические процессы, связанные с проведением отдельных видов исследований. Основное их отличие от технологических процессов в промышленности заключается в отсутствии строго детерминированной технологии работ и гарантированного результата;

— процедуры управления всем ходом геологоразведочных исследований и решения конкретных геологических задач являются в основном информационными или информационно-логическими и направлены, с одной стороны, на поиск (с оптимизацией его по средствам или срокам) объектов геологической природы с заданными свойствами, с другой — на удержание в узловых точках модели управления отдельных параметров около заранее заданных планом значений, определяемых методами оптимизации на более высоких уровнях. Исключение составляет управление технологическими процессами, где выбор оптимальных параметров осуществляется в реальном масштабе времени на том же уровне управления;

— «скважина — структура — залежь — месторождение — нефтегазоносная провинция», с одной стороны, и «буровая бригада — соответствующие нефтеразведочные организации» — с другой, были рассмотрены в качестве уровней обобщения. Анализ этих уровней и поведенческих характеристик системы типа «вход — выход» показал, что принципы и положения, используемые на конкретной «страте» геологоразведочных работ, отличаются и не могут быть выведены из принципов других «страт». При этом требования, предъявляемые к работе системы на одном уровне, выступают как условия (ограничения) деятельности на других «стратах», что свидетельствует о наличии в существующей системе управления обратной связи с получаемыми результатами;

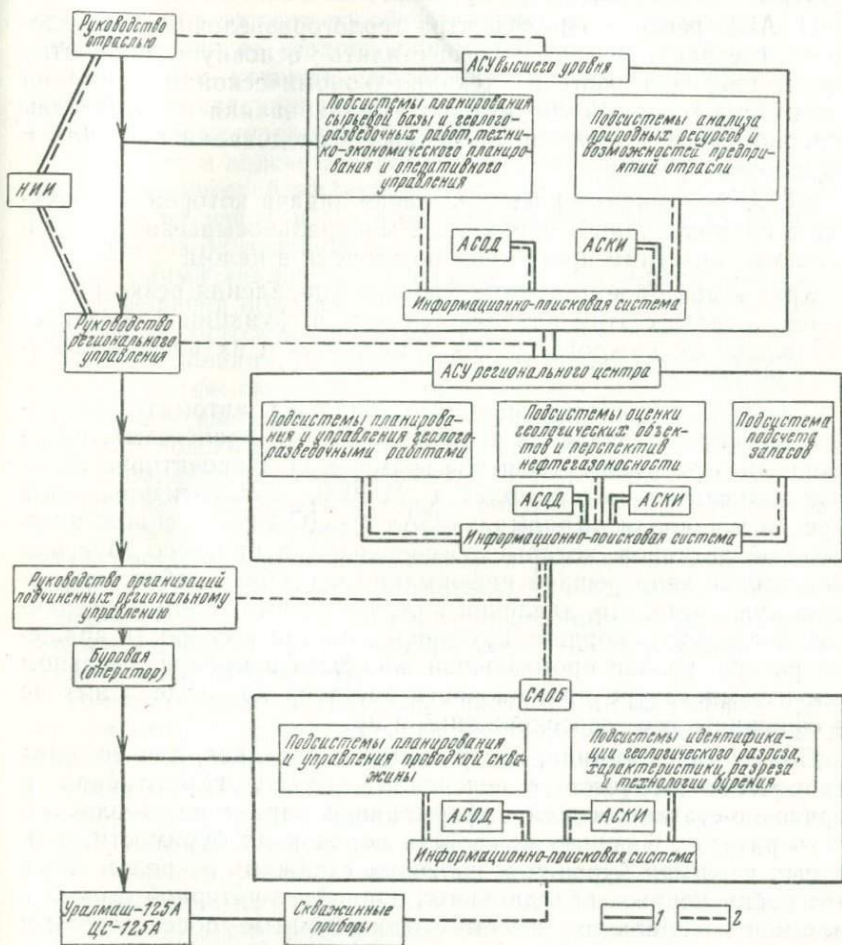
— на различных «стратах» одни и те же объекты выступают в виде непосредственных объектов управления, регулируемых переменных или экономических категорий и каждый раз характеризуются специфическим набором переменных, понятий и терминов. То, что является объектом рассмотрения на данной «страте», более подробно раскрывается на нижерасположенном уровне, и каждый элемент (признак) здесь превращается в набор элементов (признаков), характеризующим образом более детально функционирующую систему. И, наоборот, по мере движения вверх описание становится более широким, решаемые задачи охватывают все большее число параметров (объектов) и большие периоды времени. Именно отсюда возникает потребность в иерархической структуре информационной системы АСУ-Нефтегазразведка, языков описания и семантических отношений.

— специализация геологоразведочных работ и выделение функциональных и обеспечивающих систем управления производством обуславливают наличие информации двух видов: геологических результатов исследования, с одной стороны, и сведений о ресурсах, объемах геологоразведочных работ в физическом и денежном выражении и их выполнении — с другой. Среди этого потока информации сравнительно легко может быть выделена первичная информация, т. е. непосредственно наблюдаемая и измеряемая, и вторичная, получение которой связано с функциональным или логическим преобразованием и обобщением последней. Вся информация хранится в большом количестве отчетов и документах различных нефтеразведочных организаций, поэтому поиск нужной информации нередко сопряжен со значительными издержками времени и средств;

— принцип разбивки задач на подзадачи и их последовательного решения лежит в основе геологоразведочных исследований. Решение любой подзадачи определяет и фиксирует определенные параметры оставшихся подзадач и тем самым приближает окончательное решение основной проблемы;

— декомпозиция целей и проблем выражается в специализации (децентрализации) производства по видам работ, установ-

лении «целевых» и «функциональных» органов. Координация или управление этими элементами являются основой производства. По виду координирующих воздействий выделяется «управление в большом» и «управление в малом» [6]. В первом случае



Функциональная схема АСУ-Нефтегазразведка

1 — функциональные связи; 2 — информационные связи

анализ координирующих воздействий направлен на выбор способа управления, во втором — на выбор конкретных значений координирующего воздействия.

На основе многоуровневого системного подхода к анализу производства геологоразведочными работами на нефть и газ была выработана иерархическая структура АСУ-Нефтегазразведка (см. рисунок) с тремя уровнями управления.

I. САОБ (система автоматической оптимизации бурения) — призванная решать задачи, связанные с оптимальной проводкой скважины и получением полезной геологической информации непосредственно в процессе бурения.

II. АСУ регионального центра геологоразведочных исследований, где предполагается осуществлять основную обработку геолого-геофизической и технико-экономической информации с целью оценки результатов работ, планирования и управления всем комплексом геологоразведочных исследований на нефть и газ в объеме региона.

III. АСУ высшего уровня, основная задача которой заключается в планировании и управлении минеральносырьевой базой и научно-техническим прогрессом по отрасли в целом.

Круг задач проектируемых уровней управления резко различается, в связи с этим различается состав, функции и организация подсистем каждого уровня управления и их информационное обеспечение.

Система САОБа наиболее близка к автоматизированным системам управления технологическими процессами, работающими в реальном масштабе времени. Она проектируется на базе вычислительного комплекса М-6000, автоматизированной буровой установки «Уралмаш-125А» и «ЦС-125А», снабженных системой датчиков, которые обеспечивают в процессе бурения поступление непрерывной информации о глубине забоя, нагрузке на крюк и долото, давлении в стоянке и затрубном пространстве, числе ходов поршня, крутящем моменте и скорости вращения ротора, уровне промывочной жидкости в амбаре, удельном весе и температуре промывочного раствора на входе и выходе из скважины, его газосодержании и пр.

Помимо информации, поступающей с датчиков, для решения задач САОБа требуется определенный объем нормативной и справочно-статистической информации о характере геологического разреза, физических свойств пород и их буримости, проектных режимах бурения и проводки скважин в целом. Весь этот набор данных, объединенных единой структурной схемой и системой кодирования, вместе с программным обеспечением и составит информационную систему САОБа. В основе ее лежит построение оперативного банка данных, формирование и пополнение которого производится путем спроса соответствующих датчиков. Порядок и частота опроса регламентируются операционной системой. Специальный комплекс программ этой системы обеспечивает также контроль качества информации, получаемой в САОБе, и ее сжатие для передачи на следующий уровень управления. Программа обеспечения САОБа в целом строится в виде пакетов рабочих программ, реализующих функции системы и осуществляющих вывод определенных параметров и команд на пульт бурильщиков, световое табло, печатающее уст-

ройство, а в случае аварийной ситуации обеспечивающих световой или звуковой сигнал.

Информационно-управляющая система на уровне регионального центра ведения геологоразведочных работ состоит из обеспечивающих и функциональных геологических и геолого-экономических подсистем, наиболее важными из которых являются информационно-поисковая (ИПС), автоматизированной обработки данных (АСОД) и их комплексной интерпретации (АСКИ), оценки перспектив нефтегазоносности и подсчета запасов (результаты работ), оценки геолого-экономической эффективности, планирования и управления работами на нефть и газ в объеме региона. Назначение подсистем ясно из их названия.

Системный анализ задач данного уровня управления и методов их решения показал, что проектируемая здесь ИПС должна иметь иерархическую структуру и строиться для основных объектов исследования. Для геологических подсистем такими объектами являются: скважина — структура — залежь — месторождение — нефтегазоносный район (провинция); для геолого-экономических подсистем — соответствующие геологоразведочные организации, ведущие работы в регионе. Как было отмечено выше, каждый из этих объектов характеризуется своим набором фундаментальных характеристик по видам исследований и результатам работ, а также нормативной и справочной информацией. Установление их перечня, системы пообъектного описания, а также средств и способа сбора информации определяется путем обследования предприятий, стандартизации форм документации и документооборота.

Принцип полноты хранения информации на данном уровне соблюдается относительно первичных данных, объем которых конечен. Из вторичных показателей выбираются такие, целесообразность хранения которых в ИПС диктуется удобствами работы с информацией и экономической эффективностью функционирования системы в целом (на основании анализа частоты запросов, сложности формализации и трудоемкости процедур расчета вторичных показателей). Получение остальных информации необходимо предусмотреть в рамках подсистемы АСОД по соответствующим алгоритмам обработки данных, содержащихся в ИПС, в том числе создание целевых массивов для решения конкретных задач в автоматическом режиме. Определенный опыт в создании и эксплуатации таких систем в СССР уже существует [1, 2].

Проектируемая система информационного обеспечения может быть эффективной только в том случае, если она окажется способной обеспечить постоянное регламентированное поступление информации от мест ее возникновения к потребителю. Учитывая существующие потоки информации, соответствующая информационная служба представляется в виде специализированных

групп, осуществляющих сбор данных по стандартным формам и их передачу в установленные сроки в региональный центр хранения и обработки информации.

Масштабы работы АСУ регионального центра требуют привлечения самых современных средств автоматизации процессов обработки информации. В связи с этим необходимо определить оптимальный способ организации банка данных, в том числе на машинных носителях, разработать единые отраслевые классификаторы и систему кодирования, специальное математическое обеспечение и систему кодирования, специальное математическое обеспечение и систему связи с другими уровнями управления. Все это в конечном счете определит комплекс технических средств регионального вычислительного центра, включающий универсальные и специализированные ЭВМ, оптико-электронные системы, средства связи, устройства передачи и регистрации информации и их сопряжение между собой.

Учитывая большой объем графической информации при производстве геологоразведочных работ, необходимым элементом оснащения вычислительных центров являются также устройства ввода и вывода графической информации, в том числе алфавитно-цифровые и графические дисплеи. Использование последних позволит реализовать эвристические методы обработки информации, более эффективные для целого ряда геологических задач по причине недостаточной их формализации или неполноты исходных данных.

В целом региональные вычислительные центры вместе с вычислительными комплексами САОБ и терминальными устройствами сбора и передачи информации на уровне экспедиций должны составлять единую сеть, которая замыкается на головной вычислительный центр (ГВЦ), представляющий АСУ высшего уровня. Структура этой сети также носит иерархический характер, отражающий общую иерархию АСУ-Нефтегазразведка. В этой связи особое значение приобретает организация связи элементов вычислительной сети в направлении САОБ — ГВЦ, а в отдельных случаях и между региональными ВЦ, что в свою очередь подразумевает развитие сети телеграфных и телефонных каналов связи. Организация вычислительной сети позволит осуществить оперативную передачу информации между отдельными элементами системы управления, провести некоторую специализацию вычислительных центров, учитывающую специфику геолого-разведочных работ в зоне его действия, а также обеспечить дублирование с целью повышения надежности системы в целом или перераспределения нагрузок при изменении объемов работ.

АСУ-Нефтегазразведка высшего уровня имеет много общего с АСУ регионального центра ведения региональных работ и проектируется для: 1) учета и анализа результатов производственно-хозяйственной деятельности и выполне-

ния планов по предприятиям отрасли и по отрасли в целом; 2) разработки прогнозных планов и программ развития отрасли, долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного планирования; 3) оперативного управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятий отрасли, в том числе снабжением и капитальным строительством; 4) управления научно-техническим прогрессом в отрасли и НИИ.

В связи с решением поставленных задач массив информации на данном уровне должен включать в себя справочные и отчетные данные по предприятиям, регионам и отраслям в целом, информацию о природных и производственных ресурсах отрасли, данные по планированию (текущему и прошлых лет), комплексные и агрегатированные нормативные показатели, научно-техническую и другую информацию. Хранение здесь большого объема первичной информации представляется нецелесообразным, так как в случае необходимости она может быть легко получена путем запроса из соответствующего регионального центра.

В заключение следует еще раз подчеркнуть необходимость системного подхода к проектированию АСУ-Геология, так как только в этом случае можно добиться совместимости как отдельных подсистем, так и уровней управления.

ABSTRACT

The principles of building of automatized management systems of geological oil and gas research are discussed. Hierarchic and linear subsystem complex is represented by three levels of management, which include all the stages of investigation of the petroleum and gas potential areas and all the levels of these works. The aims and problems of the marked management levels are enumerated, their composition, organisation and the retrieval system are considered.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система поиска и обработки фактографической информации по геологии нефти и газа. — «Труды ВНИГНИ», вып. 312. Л., 1972, с. 25—31.
2. Аронов В. И., Невельская Э. Я. Реализация информационно-поисковых систем в геологии на ЭЦВМ. — В кн.: Математические методы и ЭЦВМ в геологии, Л., 1972, с. 121—132 (Труды ВНИГРИ, вып. 103).
3. Кожурин Ф. Д., Ярмош Н. А. Структурная обработка больших информационных массивов. Минск, «Наука и техника», 1973. 198 с.
4. Месарович М. Д., Мако Д., Такахаха И. Теория иерархических многоуровневых систем. М., «Мир», 1973. 344 с.
5. Мидоу Ч. Анализ информационно-поисковых систем. М., «Мир», 1970. 368 с.
6. Arsow K. J. Control in large organizations management. — „Sci.“, vol. 10, N 3, 1964, p. 13—18.

Предисловие	5
СТРАТЕГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ	
А. Н. Бугаец. К формулировке некоторых принципов создания автоматизированных систем обработки информации для геологического прогнозирования	7
А. М. Марголин. Приложение теории статистических решений к задаче оптимального планирования геологоразведочных работ	16
В. В. Овечкин, С. К. Сакоян. Об одном методе количественного прогнозирования оруденения	25
Д. А. Родионов. Формальная постановка задач геологического прогнозирования	29

СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ

А. Б. Вистелиус, М. Е. Демина, Б. П. Харламов. Основная задача поисковой геохимии и палеогеографии по терригенным компонентам как задача о структуре случайных полей	37
Р. И. Коган, Ю. П. Белов, Н. В. Тимофеева. Об устойчивости определения коэффициентов уравнения регрессии классической линейной модели для прогнозных геологических задач при условии случайности всех переменных	48
М. А. Романова. Марковские свойства последовательностей зерен в редкометалльных гранитах, их использование при поисковых работах и петрологических исследованиях	53
С. И. Романовский, Р. Э. Соловейчик. Математическое моделирование процессов седиментогенеза	66
А. М. Шурыгин. Решение геологоразведочных задач на модели условной случайной функции	71

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Г. Б. Бокий. О классификации минералов в связи с разработкой информационного языка	78
Н. Н. Поплавский, Б. П. Коротков. Автоматизированная информационно-поисковая система модульного типа: опыт разработки и эксплуатации на геологических материалах	82
Г. С. Рыжков, Е. В. Кучерук. Автоматизированная ИПС по геофизике и геохимии «Деслов» как пример решения вопроса совместимости систем дескрипторного типа	91
А. А. Ситнин, Ю. В. Попов. Основные принципы и методы сбора, обработки, свертывания и распространения обзорной и реферативной информации	96
О. Б. Солдатов. Основные принципы построения фактографической информационно-поисковой системы геологических данных	100

ПРОЧИЕ ПРОБЛЕМЫ

И. И. Абрамович, И. Г. Клушин. Математическая модель петрохимической эволюции геосинклинальных базальтоидов	107
В. А. Амелькин, Ю. А. Воронин. Об эффективном представлении геологических данных нумерическими функциями	113

А. В. Долицкий. Результаты анализа расположения палеогеографических и палеомагнитных полюсов	122
В. Г. Иванченко. Моделирование пространственного распределения многокомпонентных геологических показателей методом обобщенного среднего	141
С. Н. Симаков, М. Д. Белонин, В. М. Омелин, Ю. В. Подольский, И. В. Татаринцов. Автоматизированная система управления геолого-разведочными работами на нефть и газ	149

CONTENS

	P.
Preface	5
Strategy of geological search and exploration	
<i>A. N. Bugaez.</i> On a formulation of some principles of development the automation information processing systems for geological prognoses	7
<i>A. M. Margolin.</i> The use of the statistical theory for the solution of the geologo-exploration optimal planning problem	16
<i>V. V. Ovechkin, S. K. Sakoyan.</i> On the method of quantative prognosis of ore	25
<i>D. Rodionov.</i> The formal statement of geological problems	29
Stochastic processes	
<i>A. B. Vistelius, M. E. Demina, B. P. Kharlamov.</i> Random fields in some problems of paleogeography and geochemical prospecting	37
<i>R. I. Kogan, J. P. Belov, N. V. Timofeeva.</i> Stability of determining regression equation's coefficients of the classical linear model for predictional geological problems when all variables are stochastic	48
<i>M. A. Romanova.</i> Markovian properties of grain sequences in granites using them in problems of petrology and search working	53
<i>S. I. Romanovsky, R. E. Soloveichik.</i> The Matematikal modelling of sedimentation processes	66
<i>A. M. Shurigin.</i> Statistics in solution of geological-exploring problems	71
Geological information	
<i>G. B. Bokij.</i> Mineral classification in connection with development of the information languages	78
<i>N. N. Poplavsky, B. P. Korotkoj.</i> Automatic modular type serveillance system: development and operation experience	82
<i>G. S. Ryzhkov, E. V. Kucheruk.</i> Automatized retrieval system „DESLOV“ for geophysical and geochemical information solves the problem of descriptor type system compatibility	91
<i>A. A. Sitnin, Su. V. Popov.</i> The main principles and methods of collection, processing, contrection and distribution of survey and abstract information	96
<i>O. B. Soldatov.</i> The main principles of construction the information-search system of geological data	100
Other problems	
<i>I. I. Abramovich, I. G. Klushin.</i> The mathematical model of petrochemical evolution of geosynclinal basaltoids	107
<i>V. A. Amelkin, Y. A. Voronin.</i> Efficiency of representing geological data with numerical junctions	113
<i>A. V. Dolitsky.</i> The results of the analysis of the arrangement of paleogeographic and paleomagnetic poles	122
<i>V. G. Ivanchenko.</i> Model of the space distribution of the complex geological exponent by the generalization mean quantity method	141
<i>S. N. Simakov, M. D. Belonin, V. M. Omelin, Ju. V. Popolsky, I. V. Tatarinov.</i> Automatized management systems of geological oil and gas research	149

УДК 550.8 : 002.63

Бугаец А. Н. К формулировке некоторых принципов создания автоматизированных систем обработки информации для геологического прогнозирования. — В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 7—16.

Рассматриваются реальные условия принятия решений при прогнозировании и три математические модели принятия решений. Из характера взаимоотношений реальных условий принятия решений и их моделей формулируется основная задача автоматизированной системы обработки данных для прогнозирования и четыре принципа, которым должна отвечать такая система. Исходя из этих принципов рассматривается рациональный состав математического обеспечения систем обработки и требования, которым должно удовлетворять это математическое обеспечение.

Список лит. — 28 назв.

УДК 550.8 : 518.9

Марголин А. М. Приложение теории статистических решений к задачам оптимального планирования геологоразведочных работ. — В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 16—24.

Из-за сравнительно высокого уровня затрат средств и времени на геологоразведочные работы оказывается невозможным получение совершенно достоверных сведений о количестве, качестве, условиях залегания и технологических свойствах разведанных запасов минерального сырья. Поэтому выводы относительно разведанных запасов и решения о целесообразности дальнейшей разведки месторождений являются фактически лишь вероятностными утверждениями. Принятие таких утверждений для планирования геологоразведочных, горноспроходческих и горноэксплуатационных работ неизбежно связано с риском понести экономический урон. В докладе рассматривается конкретное приложение классических положений теории статистических решений к задачам выбора оптимальных (в смысле минимума экономического риска) объемов геологоразведочных работ на месторождениях, передаваемых в разработку.

Список лит. — 3 назв.

УДК 550.8 : 002.6

Овечкин В. В., Сакоян С. К. Об одном методе количественного прогнозирования оруденения. — В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 25—29.

Рассматривается статистический метод выделения из набора дискретных геологических признаков информативной совокупности. Градации информативных признаков разбивают месторождение на геологически однородные блоки (ГОБы) нескольких классов. Точки, входящие в ГОБы данного класса, имеют тождественные описания в признаковом пространстве. Рудоносность ГОБов оценивается среднеарифметическим значением результатов опробования в точках, принадлежащих ГОБам каждого класса.

Список лит. — 2 назв.

УДК 550.8 : 519

Родионов Д. А. Формальная постановка задач геологического прогнозирования. — В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 29—36.

Большинство геологических ситуаций, связанных с прогнозированием, можно отнести к одному из трех типов задач: 1) дискриминантного анализа или распознавания образов, 2) разделения смешанной совокупности объектов на однородные группы, 3) регрессионного анализа. В статье рассмотрены также вероятности ошибок, возникающих в последовательности принимаемых решений.

Список лит. — 2 назв.

УДК 550.84 : 519.

Вистелиус А. Б., Демина М. Е., Харламов Б. П. Основная задача поисковой геохимии и палеогеографии по терригенным компонентам как задача о структуре случайных полей.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 37—47.

Из источника, положение которого неизвестно, по площади рассеивается материал. По наблюдениям в поле рассеяния восстанавливается положение источника и пути разноса материала. Поле разноса есть реализация случайного поля. Его структура выясняется на основе вероятностей модели накопления при диффузионном процессе. Даны конкретная разработка реконструкции путей переноса и источник итрийсодержащего граната в апт-сеноманском бассейне юга-востока СССР и прилегающих стран.

Ил. 6, список лит. — 3 назв.

УДК 550.8 : 519

Коган Р. И., Белов Ю. П., Тимофеева Н. В. Об устойчивости определения коэффициентов уравнения регрессии классической линейной модели для прогнозных геологических задач при условии случайности всех переменных.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 48—52.

Выводятся необходимые и достаточные условия устойчивости коэффициентов уравнения регрессии, когда для исследования используется классическая модель регрессии с детерминированными переменными правой части, хотя на самом деле эти переменные случайны. Изложение иллюстрируется геологическим примером прогнозирования содержания серебра в зависимости от концентраций висмута в минерализованных эффузивно-осадочных породах одного месторождения Карамазара (Средняя Азия, СССР).

Табл. 1, список лит. — 5 назв.

УДК 550.8 : 519

Романова М. А. Марковские свойства последовательностей зерен в редкометалльных гранитах, их использование при поисковых работах и петрологических исследованиях.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 53—65.

Эталонный массив редкометалльных гранитов (Арга-Ынних-Хая) доказывает существование в них определенного стохастического механизма преобразования первичной структуры идеального гранита. Этот механизм отвечает некоторому типу последствия, названному частной марковостью. Он вызывается спецификой возникновения вторичных зерен в первичной структуре, что особенно сказывается на поведении альбита. Анализ явления объясняет феноменологию метасоматоза и положение зон вторичной минерализации, имеющих практический интерес.

Ил. 1, табл. 1, список лит. — 4 назв.

УДК 551.305 : 519

Романовский С. И., Соловейчик Р. Э. Математическое моделирование процессов седиментогенеза.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 66—70.

В статье рассматриваются различные типы математических моделей седиментогенеза и обсуждаются возможности их приложения для решения геологических задач. Основное внимание уделяется двум новым моделям, описывающим оформление фракционной структуры терригенных пород. Первая из них опирается на теорию турбулентной диффузии. Вторая касается седиментологического обоснования и вывода Вейбулловского семейства распределений.

Список лит. — 10 назв.

Шурыгин А. М. Решение геологоразведочных задач на модели условной случайной функции.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 71—77.

Серия задач по подсчету запасов решена на модели условной случайной функции. Эта функция известна в точках опробования или ее средние — на интервалах опробования. Комбинация таких задач дает возможность подсчитать запасы и оценить погрешность этого подсчета. Если имеются выдающиеся («ураганные») пробы и залежь прерывиста, оценка запасов оказывается меньше, чем традиционная. Многократно моделировалась оценка площади рудной жилы по равноотстоящим сечениям, так что была получена реальная погрешность такой оценки. Она хорошо согласуется с предполагаемыми оценками ошибок. Оценки ошибок методами численного интегрирования меньше, чем реальные, оценки Ж. Матерона больше, а оценки вариационной статистики намного больше.

Список лит. — 6 назв.

УДК 549.1 : 002.6

Бокий Г. Б. О классификации минералов в связи с разработкой информационного языка.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 78—82.

Предлагается классифицировать минералы по их химическим формулам, взяв за основу классификацию элементов развернутую форму периодической системы химических элементов. Границу между металлами и неметаллами целесообразно провести по следующим элементам: В, Si, Sn, Bi. (слева металлы, справа — неметаллы). Основными типами будут соединения металлов с неметаллами из одной подгруппы (т. е. 6 типов). Кроме того, по традиции выделяются типы простых веществ и интерметаллических соединений, а также весьма многочисленные искусственные соединения водорода с бором и углеродом и производные этих соединений с другими элементами и, наконец, тройные и более сложные соединения галогенов с металлами и их производные.

Список лит. — 5 назв.

УДК 550.8 : 002.6

Поплавский Н. Н., Коротков Б. П. Автоматизированная информационно-поисковая система модульного типа: опыт разработки и эксплуатации на геологических материалах.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 83—91.

В статье рассматривается система сбора, хранения и поиска информации геологического характера, реализованная на ЭВМ. Система позволяет использовать существующий в настоящее время документооборот. Математическое обеспечение основано на модульном принципе. Приводится описание основных модулей, синтаксиса и семантики языка системы. Основным носителем информации является магнитная лента. Приводятся примеры вводимых в систему описаний, запросов пользователя, ответов системы.

Табл. 4, список лит. — 6 назв.

УДК 550.8 : 002.6

Рыжков Г. С., Кучерук Е. В. Автоматизированная ИПС по геофизике и геохимии «Деслов» как пример решения вопроса совместимости систем дескрипторного типа.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 91—96.

Документальная информационно-поисковая система «Деслов» обеспечивает возможность обмена информационными массивами между отдельными ИПС данного типа, а также использование любого дескрипторного словаря для индексирования запроса. Схема функционирования системы основана на

представлении поисковых образов документов в виде слов естественного языка и преобразовании поисковых образов запросов с помощью дескрипторного словаря в ассоциативный список слов. ИПС «Деслов» входит в комплекс информационно-поисковых систем «ГЕО», реализованный с помощью ЭВМ БЭСМ-4. Описаны алгоритм поиска, особенности машинной программы, содержательные характеристики процедуры поиска (полнота, точность и др.). Система допускает создание дескрипторного словаря в процессе эксплуатации ИПС, а также непрерывное совершенствование словаря без исправлений поисковых образов документов.

Табл. 1, список лит. — 3 назв.

УДК 550.8 : 002.6

Ситнин А. А., Попов Ю. В. Основные принципы и методы сбора, обработки свертывания и распространения обзорной и реферативной информации.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 96—100.

Основным принципом при определении информационных потребностей в процессе сбора, обработки, свертывания и распространения обзорной и реферативной информации рекомендуется объективный подход, исходя из интересов геологической отрасли в целом. Отмечается рекомендательный характер этих видов информации и их важная роль в ориентировании специалистов на решение узловых проблем, а также в пропаганде и распространении передового опыта и новейших разработок. Рассматриваются вопросы совершенствования формы, структуры и содержания информационных изданий и подчеркивается особая роль информатора-редактора на всех стадиях сбора, обработки, свертывания документов и подготовка к изданию обзорной и реферативной информации.

УДК 550.8 : 002.6

Солдатов О. Б. Основные принципы построения фактографической информационно-поисковой системы геологических данных.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 100—106.

Рассматриваются основные требования к фактографической автоматизированной информационно-поисковой системе геологических данных. Совокупность выдвигаемых требований сводится к необходимости включения в систему результатов всех возможных методов геологических исследований с учетом различных уровней и неоднозначностью интерпретации этих результатов. Описываются принципы построения информационно-поисковой системы, удовлетворяющей всем выдвинутым требованиям.

Список лит. — 7 назв.

УДК 551.2 : 517

Абрамович И. И., Клушин И. Г. Математическая модель петрохимической эволюции геосинклинальных базальтоидов.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 107—113.

Повторяющиеся в геологической истории излияния геосинклинальных базальтов рассматриваются как выделения легкоплавких продуктов дифференциации мантийного вещества. Индикатором эволюции состава выплавки служит их железистость. Модель построена с учетом возможной вертикальной миграции зоны магмообразования, взаимодействия вещества коры и мантии, а также поступления недифференцированного вещества с больших глубин. Эмпирический материал (более 3,5 тыс. химических анализов разновозрастных базальтоидов из разных регионов) не противоречит следствиям модели.

Ил. 2, табл. 1, список лит. — 6 назв.

УДК 551 : 517

Амелькин В. А., Воронин Ю. А. Об эффективном представлении геологических данных нумерическими функциями.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 113—122.

Излагается способ кодировки геологической информации, представленной в виде матрицы «объекты—свойства», опирающийся на представления о классификациях перечисления. Учитывая особенности матрицы «объекты—свойства», строится функция, позволяющая каждому объекту приписать номер (обобщенное свойство) и по номеру объекта указать значение его свойств. Обсуждаются возможности использования этого способа кодировки для передачи, хранения и поиска геологических данных.

Табл. 1, список лит. — 5 назв.

УДК 550.384.5+551.240

Долицкий А. В. Результаты анализа расположения палеогеографических и палеомагнитных полюсов.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 122—141.

Анализ линейных структурных элементов позволил обнаружить отпечатки глобального ротационного поля напряжений и установить положение их полюсов, отвечающих географическим. На этой основе построена траектория движения палеогеографического полюса в фанерозое, оказавшаяся системой четырех спиралей. Анализ палеомагнитных данных позволил построить траекторию движения палеомагнитного полюса, представляющую систему витков. Из них семь отвечают одной спирали траектории палеогеографического полюса и характеризуют периодическое приближение палеомагнитного полюса к палеогеографическому и удаление от него. Моментам наибольшего сближения и удаления палеомагнитного и палеогеографического полюсов отвечают периоды инверсии магнитного поля, что позволило построить для фанерозоя шкалу инверсий. Показана связь траекторий палеогеографического и палеомагнитного полюсов с геологическими и тектоническими циклами.

Ил. 5, табл. 2, список лит. — 16 назв.

УДК 551 : 517

Иванченко В. Г. Моделирование пространственного распределения многокомпонентных геологических показателей методом обобщенного среднего.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 141—148.

В работе предложена математическая модель восстановления функции в геологии, основанная на интуитивном поведении человека в условиях неопределенности. Выведенные формулы могут использоваться в тренд-анализе, при оценке прогнозных значений геологических признаков, подсчета запасов и определении других параметров, для получения которых необходимо знать распределение геологических признаков в геологическом пространстве. Исходными данными для восстановления функции служат материалы геологического опробования.

Ил. 2, табл. 2, список лит. — 4 назв.

УДК 550.8+553.98

Автоматизированная система управления геологоразведочными работами на нефть и газ.— В кн.: Геологическая информация и математическая геология. М., «Недра», 1976, с. 149—155. Авт.: Симаков С. Н., Белонин М. Д., Омелин В. М. и др.

Рассматриваются принципы построения автоматизированной системы управления геологоразведочными работами на нефть и газ. Комплекс иерархических и линейных подсистем увязывается в три уровня управления, охватывающих все стадии изучения нефтегазоносности территорий и уровни управления производством этих работ. Перечисляются цели и задачи выделенных уровней управления, рассматривается их состав, организация и информационное обеспечение.

Ил. 1, список лит. — 6 назв.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Редактор издательства *Л. М. Старикова*
Художник *Б. К. Силаев*
Технические редакторы *А. Г. Иванова, А. Е. Матвеева*
Корректор *Л. М. Кауфман*

Сдано в набор 12/XII 1975 г.	Подписано в печать 20/V 1976 г.	Т-09298
Формат 60×90 ^{1/16}	Бумага № 1	Печ. л. 10,25
Тираж 2000 экз.	Заказ № 946/12071-14	Уч.-изд. л. 10,42 Цена 1 р. 04 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картфабрика объединения «Аэрогеология»

1р.04к.

1724

НЕДРА