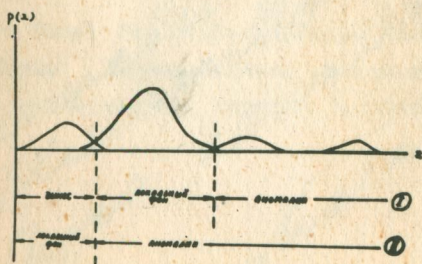


JA-31-22

**МЕТОДИЧЕСКИЕ
РЕКОМЕНДАЦИИ
по применению
АСОД—ГППИ
при геохимических
поисках
месторождений**



Москва 1984

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И
КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АСОД - ГППИ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Одобрено Бюро Междисциплинарного Совета
по проблеме: Научные основы геохимических
поисков месторождений полезных ископаемых



МОСКВА-1984

УДК 550.84.058:519

Методические рекомендации по применению АСОД-ГППИ при геохимических поисках месторождений. Верховская Л.А., Поздняков Э.Н., Бондаренко В.Н., М., ИМГРЭ, 1984.

Комплекс обрабатывающих программ "ГЕОПОЛЕ" предназначен для выявления и картирования аномальных геохимических ассоциаций при поисках и оценке проявлений рудо- и ореолообразования. Дана краткая характеристика системы организации информации (АПС "ГЕОНАВТ"), обеспечивающей ввод, коррекцию, хранение и преобразование массивов геохимических данных. На реальных примерах демонстрируются принципы применения системы и интерпретации полученных результатов при различных масштабах геохимических исследований.

Рекомендации способствуют эффективному применению АСОД-ГППИ, разработанной в ИМГРЭ для ЭВМ типа ЕС и функционирующей в ряде ПГО отрасли, и предназначены для широкого круга специалистов, использующих в своей деятельности геохимическую информацию.

Илл. 16, табл. 4, библи. 24 назв.

Составители:

Л.А.Верховская, Э.Н.Поздняков, В.Н.Бондаренко

© Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ), 1984 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы геохимические методы завоевали значительный авторитет при поисках месторождений как прямые методы обнаружения проявлений процессов рудообразования. Эффективность их доказана и высока. Известно, что геохимические поиски месторождений базируются на выявлении, фиксации, оконтуривании и определении строения геохимических ореолов — прямых признаков проявления рудообразования. В настоящее время геохимические поиски все более широко используются в практике геологической отрасли, а также находят эффективное применение и в смежных областях.

Предлагаемые методические рекомендации имеют целью демонстрацию на конкретных примерах принципов построения, алгоритмического содержания и интерпретации результатов, получаемых при помощи Автоматизированной Системы Обработки Данных "Геохимические Поиски Полезных Ископаемых" (АСОД-ГППИ). Система разработана и функционирует в ИМГРЭ, а также в ряде ПГО отрасли.

Создание системы и методических рекомендаций по ее применению определяется следующими принципиальными положениями.

1. Значительные объемы информации (тысячи и десятки тысяч элементопределений) при геохимических поисках определяют эффективность применения вычислительной техники для ее проблемно ориентированного анализа.

2. Поле наблюдаемых концентраций геохимических элементов, фиксируемое в результате геохимического опробования, представляет собой композицию двух полей: поля рассеяния элементов, сингенетического формирования геологических единиц, и поля эпигенетической концентрации элементов.

3. Задачей поисковой геохимии является обнаружение и фиксация в пространстве составляющих эпигенетического геохимического поля (участков проявления наложенного ореолообразования, сопровождающего рудогенез) и их изучение для оценки перспектив данного участка земной коры.

4. Выделение закономерной составляющей эпигенетического геохимического поля осуществляется фильтрацией случайных флуктуаций разной природы (полосовой фильтр), а также приоритетом пространства над концентрациями и привлечением многомерных характеристик для выявления закономерностей в анализируемом поле.

5. Информационное обеспечение системы реализует АИПС "ГЕОНАВТ", с помощью которой осуществляется ввод, контроль, хранение, поиск и выдача на обработку запрашиваемого материала.

6. В результате обработки информации специалисту выдаются карты типоморфных геохимических ассоциаций, которые представляют собой геохимическую основу прогнозной карты для исследуемой территории и не требуют для их интерпретации специальной подготовки.

Методические рекомендации предназначены для широкого круга специалистов производственных организаций отрасли, деятельность которых предусматривает анализ геохимической информации в поисковых целях.

1. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При поисках рудных полезных ископаемых первоочередным этапом являются различные прогнозные построения средних масштабов (от 1:200 000 до 1:25 000). Для оконтуривания перспективных площадей и оценки возможного типа рудоносности существенную роль играют геохимические данные. Каким должен быть алгоритм обработки геохимической информации для успешного решения поставленной задачи?

Месторождения рудных полезных ископаемых являются результатом тех или иных физико-химических процессов, отличающихся от процессов породообразования, проявление которых определяет наблюдаемую геологическую структуру участка исследований. Рудные тела вместе с сопровождающими их геохимическими ореолами занимают ничтожную часть всего объема земной коры. Этот факт позволил геохимикам ввести для ореолов понятие аномалии как участка пространства с поведением и содержаниями элементов, отличающимися от таковых в неизменных породах литологических комплексов. Очевидно, что понятие аномалии определяется только по отношению к окружающей геологической обстановке. Следовательно, и обнаружение аномалий возможно только при целенаправленном исследовании системы поведения элементов в околорудных ореолах относительно их поведения в неизменных породах.

Традиционный метод обнаружения геохимических аномалий базируется на фиксации превышения концентраций некоторых элементов в пределах аномалий над содержаниями тех же элементов в неизме-

ненных породах. Можно ли считать установление такого факта превышения достаточным для моделирования соотношений элементов в реальных геологических объектах - соотношений, выяснение которых необходимо для поисков месторождений по геохимическим данным? Отрицательный ответ на этот вопрос следует из накопленного опыта применения традиционной методики геохимических исследований. Огромное количество аномалий, оконтуренных по критерию значимого отклонения содержания от среднефоновых в неизменных породах, требует тщательной разбраковки аномалий. Другими словами, требуется дополнительная операция выделения из числа оконтуренных только тех аномалий, которые связаны с проявлением рудо- и ореолообразования и перспективны для более крупномасштабных исследований. Вряд ли целесообразна такая двухстадийность обработки геохимических данных, включающая оконтуривание огромного количества неперспективных аномалий на первом этапе. Нецелесообразность такой двухстадийной методики уже подчеркивал Я.М.Грицков [15], отмечая, что традиционный "процесс выявления и оконтуривания аномалий не включает необходимых приемов их разбраковки".

Для совершенствования методики обработки геохимической информации при среднемасштабных поисковых работах необходимо найти более точное в аспекте решаемых задач отношение поведения элементов в околорудных ореолах к таковому во вмещающих породах. Необходимо найти отображение таких соотношений в реальных геологических объектах, которые обеспечивают выделение только перспективных аномалий; перспективных для постановки более крупномасштабных исследований, так как эти аномалии являются результатом проявления процессов рудо- и ореолообразования.

Второй аспект, который принимался во внимание при создании предлагаемой методики, - это отсутствие априорной информации о типах возможного оруденения. Эта ситуация типична для геохимических исследований новых территорий в масштабах от 1:200 000 до 1:25 000. Задача создания математического алгоритма обработки геохимической информации в этих масштабах состоит в обеспечении выделения аномалий с любым типом возможного скрытого оруденения. Необходимо обеспечить автоматическое определение типоморфных комплексов элементов для каждой выделяемой перспективной аномалии. Такая постановка вопроса принципиально отличает предлагаемую методику от традиционной, когда аномалии выделяются по значениям мультипликативных показателей, различных для разных иско-

пов оруденения (когда используемые мультипликативные показатели априори задаются исследователем).

В последнее время выкристаллизовались три важные, по нашему мнению, концепции, способные уточнить математическое описание геохимической системы околорудного ореола в среде вмещающих пород.

1. Физико-химические процессы рудообразования оставляют в пространстве неизменных пород "следы энергетических процессов" в виде "аномальных геохимических полей (АГП)", сопоставимых и измеримых по размерам и морфологии с перспективными геологическими структурами того же масштаба исследования. Закономерности изменения концентраций элементов в пределах АГП можно описывать различными экспоненциальными функциями [11, 19].

2. Для околорудного пространства характерно не только обогащение комплексом химических элементов, свойственных процессам рудообразования, но и обеднение некоторыми другими элементами [18, 12, 13, 14]. В перечисленных работах авторы считают отрицательные аномалии в околорудном пространстве результатом выноса сидерофильных, щелочных и некоторых других элементов, всегда сопутствующего обогащению околорудного пространства комплексом типоморфных элементов при проявлении процессов метасоматоза.

3. Физико-химические процессы сингенетичного рассеяния при становлении пород и эпигенетической дифференциации вещества настолько различны, что при математическом моделировании геохимического поля ценную информацию несет не только разница в абсолютных значениях содержаний элементов во вмещающих породах и в околорудном ореоле, но и различия статистических связей элементов между собой — например, измеряемых коэффициентами корреляции [17, 15].

Наиболее значительной из перечисленных концепций является вторая, поскольку позволяет использовать системный подход к решению задачи. Методологические разработки системного подхода рекомендуют при построении модели-системы использовать процедуры сопоставления, которые дают возможность выявить "элементы" системы, переходящие друг в друга и отображающие общий методологический принцип единства противоположностей [22]. Именно "следы" процессов привноса-выноса должны стать основными "элементами" математической модели околорудного ореола. Принципиальная "системность" всех параметров, отображающих процессы привноса — выноса,

обеспечивает их огромную информативность. Это положение подтверждается четкой пропорциональностью значений коэффициентов интенсивности [14] запасам руд на месторождениях различных типов!

Итак, системное отношение привноса — выноса должно быть определяющим при создании алгоритма выделения перспективных аномалий при обработке геохимической информации опробования поверхности. Опираясь также на другие методические идеи, упомянутые выше, сформулируем задачу математической обработки геохимической информации при средномасштабных поисковых работах:

В качестве перспективных площадей оконтуриванию подлежат аномальные геохимические поля, которые отличаются от неизменных пород резкой дифференциацией химических элементов, отображающей процессы привноса — выноса.
--

При крупномасштабных исследованиях (1:5000 и крупнее), т.е. при обработке данных опробования профилей, канав, скважин и других горных выработок, геохимическая информация применяется для решения двух задач:

1) выяснение структуры пространственной неоднородности исследуемого участка земной коры при детальных поисках, когда тип искомого оруденения известен лишь гипотетически и эталонов строения околорудных ореолов этого типа нет;

2) выяснение структуры околорудного ореола при известном типе и месторасположении руды для получения эталона, который может быть использован при классификации новых поисковых ситуаций.

Вторая задача детально разработана С.В. Григоряном. В данном случае можно говорить лишь о возможностях применения методики "ГЕОПОЛЕ", хотя цель последней — решать первую задачу без априорной информации о руде.

И при крупномасштабных исследованиях наиболее информативным признаком околорудного пространства остается резкая дифференциация вещества, невозможная в сингенетичном поле рассеяния. Однако, здесь приобретает важное значение результаты сопоставления не процессов привноса — выноса, а процессов дифференциации элементов высокоэнергетичного и низкоэнергетичного парагенезисов. "Следы" процессов такой дифференциации вещества определяют зональность околорудного пространства [1]. В связи с этим, зональное распределение аномалий различных парагенезисов является целью описания близрудного пространства. Сохраняя единство методики, сформулируем задачу математической обработки геохимической инфо-

рмации при крупномасштабных поисковых работах;

В качестве зон возможного околорудного ореола оконтуриванию подлежат аномальные геохимические поля, которые различаются между собой дифференциацией парагенезисов элементов различной энергетичности (подвижности).

Основная задача крупномасштабных исследований это "расшифровка структуры" [9] блока пород, представляющего аномальное геохимическое поле, выявление в нем элементов, потенциально способных контролировать размещение рудных тел. Строго говоря, поиск локальных фрагментов структуры типа экранов, ловушек, геохимических барьеров и т.п., в которых обычно концентрируются скопления руд, невозможен без привлечения информации структурной геологии. Геохимические же данные любого масштаба исследования, проанализированные с позиций основных положений теории метасоматоза и учения о зональном строении околорудных ореолов, позволяют выяснить общую сквозную структуру всей системы раствороподводящих каналов, специфику типоморфных комплексов элементов.

П. МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ "ГЕОПОЛЕ"

Предлагаемая методика "ГЕОПОЛЕ" осуществляет математическую обработку геохимической информации, направленную на выявление и оконтуривание аномальных геохимических полей с попутным выявлением наиболее контрастных показателей дифференциации вещества. При среднемасштабных исследованиях дневной поверхности самым важным показателем дифференциации вещества служит отображение процессов привноса - выноса между АП и неизменными породами. Типоморфный комплекс возможного оруденения оценивается по набору элементов привноса. При крупномасштабных исследованиях систем горных выработок выделяемые показатели дифференциации вещества позволяют выяснить структуру внутреннего строения АП и расшифровать ее с позиций учения о зональном строении эндогенных ореолов.

В общем случае для описания геохимического поля целесообразны следующие математические модели:

1) аддитивная модель

$$\xi(z) = C(z) + \gamma(z), \quad (1)$$

2) мультипликативная модель

$$\xi(z) = C(z) \cdot \psi(z), \quad (2)$$

3) аддитивно-мультипликативная модель

$$\xi(z) = [C(z) + \delta(z)] \cdot \psi(z), \quad (3)$$

где $C(z)$ - детерминированная составляющая, являющаяся результатом "наложения" эпигенетической (аномальной) составляющей $C_{ан}(z)$ на фон неизменных пород $C_{ф}(z)$:

$$C(z) = C_{ан}(z) + C_{ф}(z). \quad (4)$$

В приведенных выражениях $\gamma(z), \psi(z), \delta(z)$ - случайные составляющие с различными вероятностными характеристиками, z - обобщенное обозначение пространственных координат.

При обработке результатов химического анализа содержаний вполне приемлемой представляется аддитивная модель, а при использовании спектрального анализа необходимо учитывать мультипликативный характер вхождения погрешностей измерений в математическую модель. Для измерений геохимического поля точечными пробами правильнее использовать аддитивно-мультипликативную модель, в которой $\delta(z)$ моделирует влияние микронеоднородностей пород, а обобщенными пробами - мультипликативную модель.

Основное содержание методики "ГЕОПОЛЕ" отражено в последовательности задач, решение которых обеспечивается ее применением:

1. Определение статистических характеристик неизменных пород по имеющимся в распоряжении исследователя геохимическим данным (без специальных фоновых выборок);

2. Выявление и оконтуривание аномальных геохимических полей (а не аномальных проб-точек) методами пространственной фильтрации исходных данных;

3. Выделение комплексов элементов привноса-выноса и (или) зональной дифференциации вещества анализом структуры связей между химическими элементами и степени неоднородности исследуемой выборки.

4. Автоматическое выделение ассоциации элементов обогащения для каждого оконтуриваемого АП как оценка типоморфного комплекса элементов возможного оруденения.

П.1. Блок-схема комплекса математических алгоритмов методики "ГЕОПОЛЕ"

Комплекс алгоритмов "ГЕОПОЛЕ" состоит из трех крупных блоков: блока стандартизации информации, блока выявления типоморфных ассоциаций и блока картирования.

Цель функционирования блока стандартизации - подготовка ин-

формации к анализу эпигенетической составляющей геохимического поля. Известно, что геохимическая информация осложнена случайными флуктуациями разного рода. В связи с этим, необходимо среди этих случайных колебаний выделить закономерную составляющую геохимического поля, т.е. установить закономерности изменения геохимических характеристик в пространстве опробования. Причем, на эту закономерную составляющую не должны влиять различия в сингенетических характеристиках разных пород. Другими словами, в предлагаемом комплексе алгоритмов "ГЕОПОЛЕ" блок стандартизации информации предназначен для выделения эпигенетической составляющей геохимического поля, что осуществляется операцией полосовой фильтрации информации.

На рис. I приведена блок-схема комплекса алгоритмов "ГЕОПОЛЕ". Полосовая фильтрация информации осуществляется последовательностью операций фильтрации флуктуационного шума и фильтрации локального фона. Параметры локального фона (если не задаются исследователем) оцениваются по геохимическим данным опробования исследуемых объектов без применения специальных фоновых выборок.

В блоке оценки типоморфных ассоциаций предусмотрены три алгоритма. Один из них использует метод главных компонент. Он дает интегральную характеристику исследуемой территории посредством нескольких наиболее контрастных показателей дифференциации вещества, выделяемых автоматически при исследовании материала без априорной информации о типе возможного оруденения. При среднемасштабных исследованиях этот алгоритм является основным. Второй алгоритм построен по принципу сканирования профилей (скважин, каналов) и осуществляет, по сути дела, операцию совмещения моноэлементных ореолов. Этот алгоритм может быть использован параллельно при крупномасштабных исследованиях. Третий алгоритм позволяет вычислять традиционные мультипликативные и аддитивные комплексные показатели, когда известен тип или предполагается поиск определенного типа оруденения.

Третий блок – картирования аномальных геохимических полей (или зон ореолов при крупномасштабных исследованиях), предполагает использование некоторых возможностей ЭВМ для построения карт и разрезов.

Остановимся подробнее на изложении существа алгоритмов.

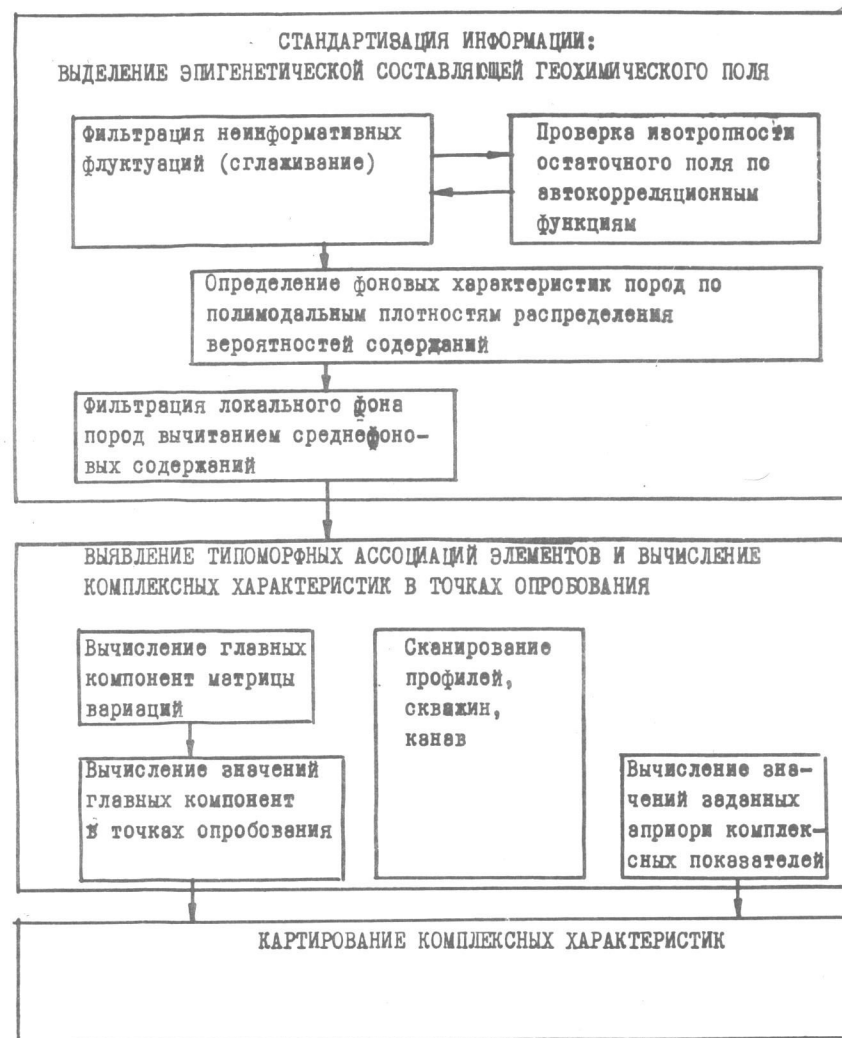


Рис. I. Блок-схема комплекса алгоритмов "ГЕОПОЛЕ"

1.2. Выделение детерминированной составляющей геохимического поля

Выделение детерминированной составляющей $C(z)$ в моделях типа (1), (2) или (3) может быть осуществлено методами фильтрации. При решении поисковых задач естественной целью является фильтрация изотропной (независящей от координат и неинформативной для поисков) составляющей геохимического поля.

Для выделения детерминированной составляющей из изотропного шумового поля достаточно применения методов линейной фильтрации. В приемлемой для ЭВМ дискретной форме алгоритм линейной фильтрации записывается следующим образом:

$$\hat{C}(z) = \sum_{j=1}^n \xi(z_j) \cdot g(z, z_j),$$

где $\hat{C}(z)$ — результат фильтрации в точке z ; $\{z_j\}$, $j = 1, \dots, n$ — координаты точек опробования геохимического поля ξ ; $g(z, z_j)$ — весовая функция.

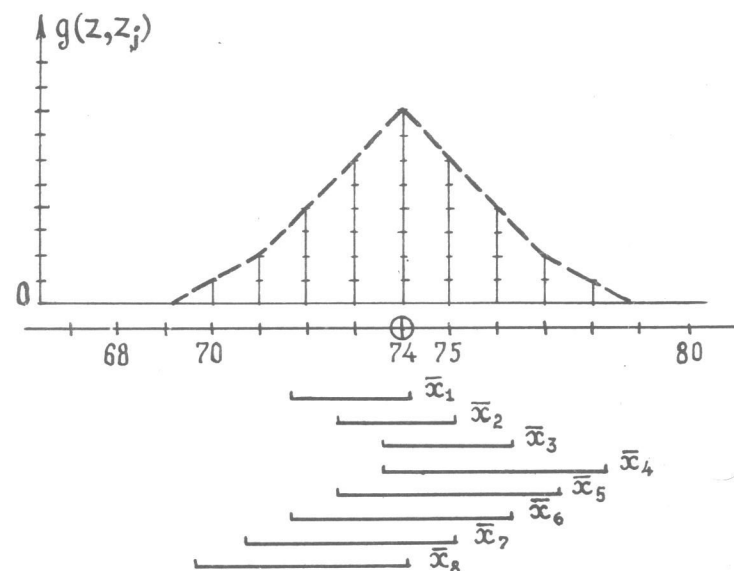
Применение оптимальных алгоритмов фильтрации требует знания вида автокорреляционной функции удаляемого "шума". В связи с тем, что автокорреляционные свойства шумовой составляющей геохимического поля пока неизвестны, для выделения закономерной составляющей в геохимическом поле применение методов субоптимальной фильтрации (сглаживания) следует считать приемлемым. В этом случае весовые функции $g(z, z_j)$ в алгоритме фильтра задаются исследователем из каких-либо общих методологических соображений.

Известно, что приближение свойств сглаживающего фильтра к оптимальным обеспечивается весовой функцией $g(z, z_j)$ равномерно и симметрично убывающей от ее значения в точке аппроксимации z . Таким субоптимальным свойством обладает весовая функция в алгоритме сглаживания Стеклова:

$$g(z, z_j) = \frac{2}{L} \left[1 + \frac{|z - z_j|}{L} (\ln \frac{|z - z_j|}{L} - 1) \right], \quad (5)$$

где L — параметр сглаживания, равный расстоянию от точки z , в которой определяется результат сглаживания, до самой дальней точки z_j , влияющей на него.

Характер весовой функции (5) показан на рис.2. Именно алгоритм вычисления средних Стеклова использован для выделения детерминированной составляющей геохимического поля в комплексе программ "ГЕОПОЛЕ". Алгоритм реализован в двух вариантах — профильном и площадном.



70 1. ⊕ 2. — 3. — 4. —

Рис.2. Процедура вычисления средних Стеклова при профильном опробовании

1 — профиль опробования и номера проб (j); 2 — точка опробования, для которой вычисляется результат складывания; 3 — положение интервалов при вычислении $\bar{x}_j$; 4 — вид весовой функции $g(z, z_j)$ для случая $l = 5$

При расчетах вручную удобнее пользоваться следующим алгоритмом, эквивалентным сглаживанию с весовой функцией (5). Рис.2 иллюстрирует процедуру сглаживания методом средних Стеклова для линейно упорядоченного (профильного) опробования. В данном случае демонстрируется получение сглаженного значения для точки с номером 74. Для всех интервалов из трех и пяти точек опробования, в которые входит точка 74 (при $l = 5$) вычисляются средние ($\bar{x}_j$). В общем случае $\bar{x}_j$ вычисляются для всех интервалов с нечетным количеством проб, длина которых меньше или равна заданному l . В

приведенном примере $\ell = 5$, поэтому $\bar{x}_i$ вычисляются для интервалов длиной в 3 и 5 проб. Сглаженное значение для точки 74 определяется из выражения $\hat{C}(z_{74}) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \bar{x}_i$. На рисунке приведен также вид весовой функции, отражающей влияние значений в окружающих пробах на величину полученного в результате сглаживания значений признака для пробы 74. Данная процедура осуществляется для каждой точки опробования. Однако выбор интервала сглаживания (ℓ) и определение качества процедуры нетривиальны. В связи с этим, в предлагаемой методике реализован алгоритм проверки качества процедуры фильтрации в условиях задачи выделения закономерной составляющей эпигенетического геохимического поля.

Критерий правильности проведенной операции сглаживания основан на понятии изотропности (для поисковой геохимии – неинформативности) остаточного поля флуктуаций. Остаточное поле вычисляется в зависимости от принятой математической модели (1), (2) или (3). При обработке результатов спектрального анализа в рамках методики "ГЕОПОЛЕ" проверяется изотропность остаточной составляющей $\hat{\Psi}(z)$, вычисляемой по следующей формуле, вытекающей из выражения (2):

$$\Psi(z) = 1 + \frac{\xi(z) - \hat{C}(z)}{\hat{C}(z)}, \quad (6)$$

где $\hat{C}(z)$ – оценка детерминированной составляющей.

Изотропность остаточного поля устанавливается с помощью аппарата проверки двух статистических гипотез [5]:

1. 0 равенстве математического ожидания остаточного поля нулю в аддитивной модели и единице – в мультипликативной модели;
2. 0 согласии вида автокорреляционной функции с остаточной составляющей δ – функции.

Процедура заключается в следующем. Проводится сглаживание с минимальным значением параметра фильтрации L в весовой функции (5), а в терминах рис.2 – по наименьшему количеству точек $\ell = 3$. Затем в каждой пробе вычисляется оценка остаточного поля $\hat{\Psi}(z)$ согласно (6) и для нее – среднее значение и оценка автокорреляционной функции. Если обе гипотезы верны, то остаточное поле признается изотропным и процедура выделения детерминированной составляющей считается завершенной. Если нет, то параметр сглаживания изменяется (увеличивается) и процедура повторяется. Поиск параметра, удовлетворяющего приведенным выше требованиям, продолжается до тех пор, пока остаточная составляющая не будет удов-

летворять критерию изотропности. Результат сглаживания в этом случае является оценкой искомой детерминированной составляющей $C(z)$ геохимического поля.

П.3. Определение фоновых характеристик пород и выделение аномальной составляющей геохимического поля

В соответствии с принятой математической моделью (4) выделенная детерминированная составляющая $C(z)$ является суммой двух полей: поля сингенетического рассеяния элементов $C_{\phi}(z)$ и поля эпигенетического перераспределения вещества $C_{\alpha n}(z)$.

В большинстве процедур определения параметров фоновой совокупности, в том числе и с применением методов статистики, вычисленные параметры испытывают влияние случайных аномальных значений разного происхождения. Как показывает практика, аномальные и ураганные значения могут присутствовать даже в специально отобранных фоновых выборках. Определение параметров фона в методике "ГЕОПОЛЕ" осуществляется на базе логико-статистического анализа структуры выборки. Если в исходной информации указаны названия пород, то для определения параметра фона автоматически формируются совокупности, однородные по названию породы. Если породы не указаны, то фоновые характеристики могут быть определены лишь единые для всего материала. Такая ситуация встречается при исследовании почв, вод или при крупномасштабном опробовании пород без детального петрографического картирования. Преимуществом предлагаемой методики является отсутствие необходимости в проведении как полевых работ по сбору специальных фоновых выборок, так и всех последующих лабораторных исследований по их обработке и анализу.

В предлагаемой методике информация о параметрах фона извлекается из геохимической выборки, имеющейся в распоряжении исследователя. Основанием этому является предположение, что при любой системе опробования массив информации непременно содержит данные о локальном геохимическом фоне.

Массив информации результатов геохимического опробования участка земной коры в поисковых целях наиболее целесообразно представлять в виде модели неоднородной совокупности. Плотность распределения такой совокупности полимодальна. Алгоритмы непараметрической оценки плотности вероятностей (построения гистограммы) позволяют дать оценку вероятности попадания значений измеряемой

характеристики в некоторую область значений ("окно"). При вычислениях рекомендуется вводить некоторую "функцию окна", позволяющую по-разному взвешивать экспериментальные данные. В соответствующем алгоритме методики "ГЕОПОЛЕ" используется кривая Гаусса в качестве "функции окна" [16]:

$$p(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt[3]{n}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\sqrt[3]{n^2}}{2a^2} (x - \hat{c}_i)^2 \right\}, \quad (7)$$

где $p(x)$ - оценка плотности распределения вероятностей содержания x ; n - объем выборки; $\hat{c}_i$ - значение детерминированной составляющей в i -й пробе ($i=1, 2, \dots, n$); a^2 - параметр сглаживания гистограммы, пропорциональный дисперсии признака.

Выделение подсовокупностей, определяющих неоднородность выборки, основано на логическом анализе кривой полимодальной плотности распределения вероятностей. Процедура осуществляется для содержаний каждого из рассматриваемых химических элементов в каждой разновидности пород (рис.3). Интервал содержаний, на который

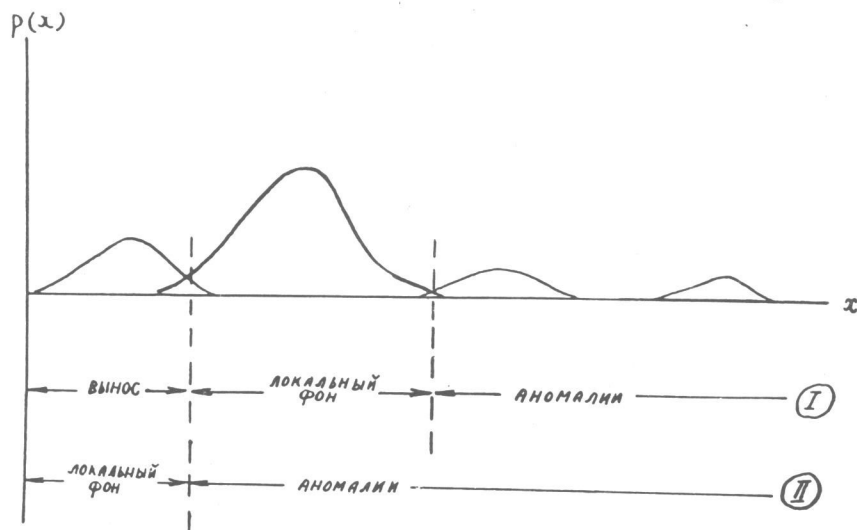


Рис.3. Интерпретация полимодального распределения вероятностей содержаний химического элемента в породе

1 - при литохимической съемке и поисковых работах; 2 - при опробовании горных выработок в пределах месторождений

приходится наибольший максимум плотности вероятностей и ограниченный с обеих сторон значимыми минимумами плотности, интерпретируется как фоновый. По данным фоновой подсовокупности, вычисляются статистические характеристики локального фона: средне-фоновое содержание, дисперсия и коэффициент вариации. Верхняя граница фоновых концентраций интерпретируется как минимально-аномальное значение. В ряде случаев удается оценить порог для содержаний в зонах выноса (или обеднения другой природы) по нижней границе фоновых интервала. Кроме того, при наличии ураганных проб в выборке оценивается порог ураганной аномальности. Для оценки последнего используется известный из статистики факт, что совокупности положительных величин с мономодальными плотностями распределения имеют коэффициент вариации, не превышающий единицу [4]. Другими словами, ураганными признаются те пробы, при исключении которых из выборки коэффициент вариации последней становится меньше единицы.

Итак, методика "ГЕОПОЛЕ" позволяет определить параметры фона для каждого элемента в каждом типе пород по имеющемуся у исследователя материалу без специальных фоновых выборок.

Последняя процедура в блоке стандартизации - вычитание фонового уровня рассеяния из полученной детерминированной составляющей геохимического поля:

$$\hat{c}_{ан}(z) = \hat{c}(z) - \hat{c}_ф(z), \quad (8)$$

где в качестве $\hat{c}_ф(z)$ могут быть взяты полученные выше результаты определения параметров фона пород разных типов (при желании исследователя величины $\hat{c}_ф(z)$ могут быть заданы). Операция низкочастотной фильтрации аннулирует влияние разновидностей пород на исследование оценки эпигенетической (аномальной) составляющей геохимического поля.

П.4. Определение геохимической специализации аномальных геохимических полей методом главных компонент

Выборочные данные на выходе из блока стандартизации информации, представляют собой оценку эпигенетической составляющей геохимического поля для всех исследуемых элементов. Следующая задача состоит в определении ассоциаций синхронно и асинхронно аномальных (конкордатных и антикордатных) элементов и в оконтуривании аномальных геохимических полей различной специализации. Анализ многомерного геохимического поля осуществляется в блоке

"выявления типоморфных ассоциаций" (см. рис. I).

При построении алгоритмического содержания данного блока требовалось решить задачу: какие статистики могут служить мерой неоднородности геохимических данных, фиксировать наличие положительных и отрицательных аномалий, учитывать конкордантность, т.е. синхронность поведения в пространстве аномалий различных химических элементов?

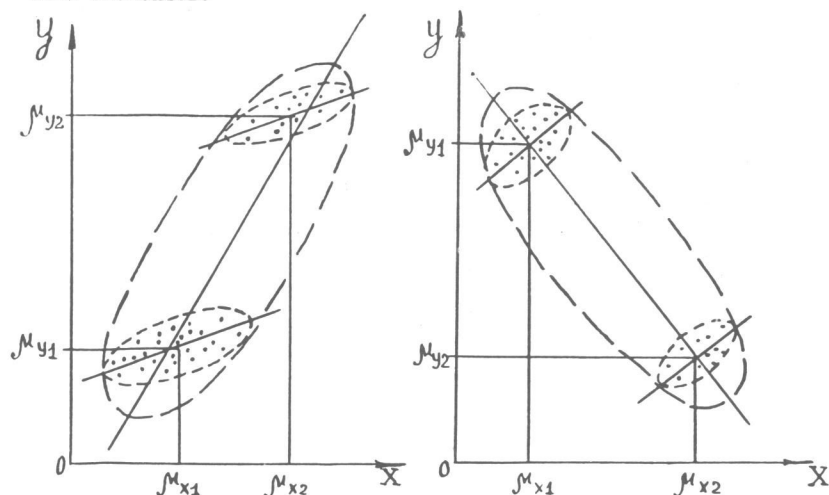


Рис. 4. Модель неоднородного признакового пространства

Рассмотрим выборочные геохимические данные в признаковом пространстве осей, каждая из которых представлена значениями одного из признаков — содержаниями какого-либо из исследуемых химических элементов. В таком пространстве каждая проба представляется точкой, в соответствии со значениями содержаний элементов. На рис. 4 показаны две модели двумерного признакового пространства с признаками X и Y (т.е. содержаниями в пробах некоторых двух элементов). Группировка проб-точек в признаковом пространстве свидетельствует о неоднородности геохимических данных. Будем считать пробы из подсовокупности с математическими ожиданиями (M_{x1}, M_{y1}) представителями сингенетического поля рассеяния элементов, т.е. пробами-представителями локального фона. Вторая подсовокупность в обоих случаях представляет аномалию. На рис. 4а элементы-признаки конкордантны, так как оба образуют положительную аномалию

по сравнению с фоном. На рис. 4б представлен случай с антикорреляционными элементами, так как в одних и тех же пробах, не относящихся к фоновой подсовокупности, один элемент образует положительную аномалию (значения признака выше, чем фоновой подсовокупности), а второй — отрицательную (значения признака ниже, чем в фоновой подсовокупности). Пусть в общем случае аномальная подсовокупность характеризуется математическими ожиданиями (M_{x2}, M_{y2}) .

Проведенные исследования [3] показали, что при обработке такого рода неоднородных выборок у общеизвестной оценки парного коэффициента корреляции $\hat{r}_{xy}$ появляются интересные для нас свойства

$$\hat{r}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (9)$$

где n — общее количество проб с измеренными значениями двух признаков x_i и y_i в каждой i -й пробе; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения признаков, подсчитанные по всей выборке объема N .

В условиях неоднородности выборки оценка $\hat{r}_{xy}$ перестает быть мерой статистической связи, а начинает отражать синхронность скачков математических ожиданий признаков X и Y . Будем измерять скачки математических ожиданий в неоднородной выборке нормированными разностями:

$$\theta_x = \frac{(M_{x2} - M_{x1})}{\sigma_x} \quad \text{и} \quad \theta_y = \frac{(M_{y2} - M_{y1})}{\sigma_y},$$

где σ_x и σ_y — среднеквадратические отклонения признаков X и Y соответственно, для однородных подсовокупностей при условии

$$\sigma_{x1} = \sigma_{x2} = \sigma_x \quad \text{и} \quad \sigma_{y1} = \sigma_{y2} = \sigma_y.$$

Тогда математическое ожидание оценки r_{xy} можно представить в следующем виде:

$$M[\hat{r}_{xy}] = \frac{\rho_0 + \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \theta_x \cdot \theta_y}{\sqrt{1 + \alpha(1 - \alpha) \cdot \theta_x^2} \cdot \sqrt{1 + \alpha(1 - \alpha) \cdot \theta_y^2}},$$

где ρ_0 — коэффициент парной корреляции в однородной подсовокупности; α — доля выборочных данных (проб) в фоновой подсовокупности и $(1 - \alpha)$ — соответственно, доля проб в аномальной подсовокупности.

На рис. 5 приведены графики, отражающие зависимость статис-

тики $\hat{\rho}_{xy}$ от величины скачков математических ожиданий в неоднородной выборке (для случая $|\theta_x| = |\theta_y| = \theta$). Из расчетов видно, что в условиях неоднородности оценка парного коэффициента корреляции $\hat{\rho}_{xy}$ становится близкой к единице для конкордатных признаков и, соответственно, — минус единице для антикордатных признаков (независимо от значений истинной коррелированности в однородной подсовокупности ρ_0). При обработке неоднородных выборок статистику $\hat{\rho}_{xy}$ правильнее называть коэффициентом синхронности или конкордатности.

В корреляционной матрице, вычисленной по геохимическим данным опробования площади, все химические элементы обогащения аномального геохимического поля (АГП) будут иметь большие значения коэффициентов конкордатности. То же самое можно сказать и о комплексе элементов выноса из АГП. Значение же коэффициента между любым элементом привноса и любым элементом выноса будет близко к минус единице. Те химические элементы, которые не участвовали в процессах переработки пород, могут иметь любые коэффициенты корреляции с другими элементами и между собой. Таким образом, коэффициенты конкордатности оказываются полезными для решения нашей задачи, но не достаточными. Коэффициенты конкордатности не являются мерой неоднородности выборки, так как их возможные значения лежат в том же интервале, что и значения коэффициентов корреляции однородных совокупностей.

Для положительных величин, каковыми являются содержания химических элементов в пробах, мерой неоднородности признака в выборке может служить коэффициент вариации $V = \frac{\sigma}{\bar{x}}$. На рис. 6 продемонстрировано поведение оценок коэффициента вариации для неоднородных выборок, где степень неоднородности измеряется отношением математических ожиданий μ_2/μ_1 подсовокупностей. Вычисления проводились по полученной [4] формуле

$$M[\hat{V}^2] = \frac{V^2 + \alpha}{1 - \alpha} + \alpha \cdot \frac{(1 - 2\alpha)(V^2 + \alpha) - 2(1 - \alpha)(V^2 + 1) \frac{\mu_2}{\mu_1}}{[\alpha + (1 - \alpha) \frac{\mu_2}{\mu_1}]^2}$$

при условии, что коэффициенты вариации однородных подсовокупностей равны между собой:

$$V = \frac{\sigma_1}{\mu_1} = \frac{\sigma_2}{\mu_2}.$$

Ранее было показано [4], что критическое значение для квадрата коэффициента вариации положительных случайных величин с си-

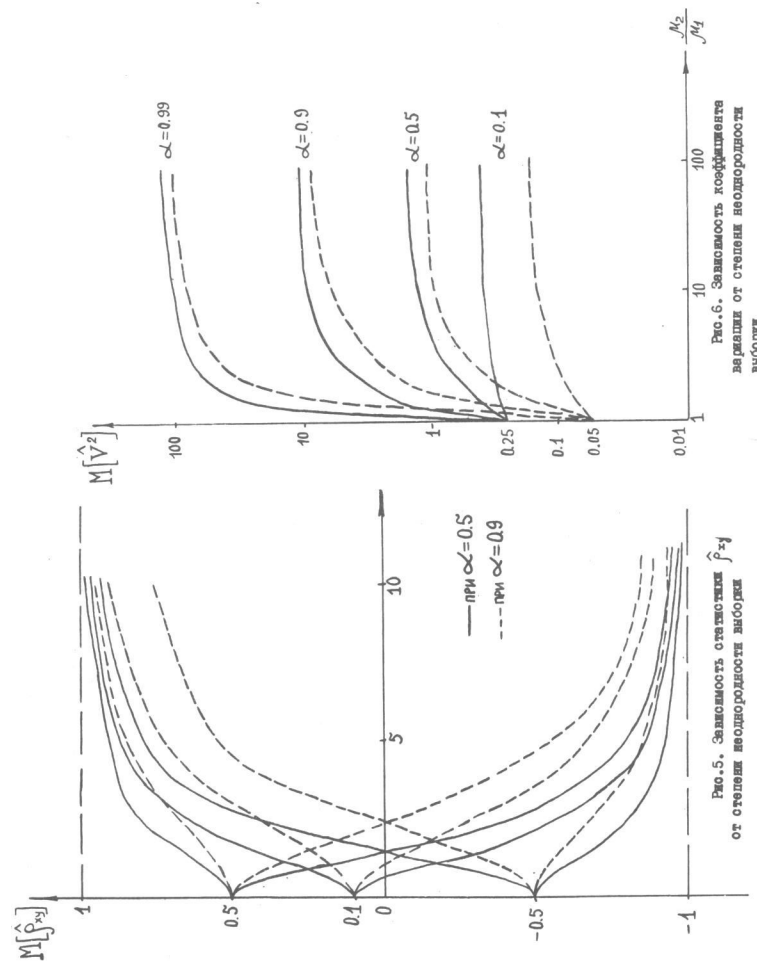


Рис. 6. Зависимость коэффициента вариации от степени неоднородности выборки

Рис. 5. Зависимость отклонения $\hat{\rho}_{xy}$ от степени неоднородности выборки

симметричными законами распределения равно 0,35. Если учесть возможность существования логнормального распределения вероятностей содержаний у некоторых элементов в сингенетичном поле рассеяния, то можно ориентироваться на более универсальное критическое значение коэффициента вариации, равное единице. Большое значение выборочного коэффициента вариации, превышающее критический уровень, означает неоднородность выборки.

Объединив исследованные статистики в матрицу вариаций мы получим сжатую информацию о характере и степени неоднородности геохимического поля:

$$W = \begin{pmatrix} V_1^2 & V_1 V_2 \rho_{12} & \dots & V_1 V_j \rho_{1j} & \dots & V_1 V_m \rho_{1m} \\ V_2 V_1 \rho_{21} & V_2^2 & \dots & V_2 V_j \rho_{2j} & \dots & V_2 V_m \rho_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_i V_1 \rho_{i1} & V_i V_2 \rho_{i2} & \dots & V_i V_j \rho_{ij} & \dots & V_i V_m \rho_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_m V_1 \rho_{m1} & V_m V_2 \rho_{m2} & \dots & V_m V_j \rho_{mj} & \dots & V_m^2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Каждый диагональный член матрицы (10) V_i^2 представляет собой меру неоднородности содержаний соответствующего химического элемента в исследуемых данных, а коэффициенты конкордантности ρ_{ij} — синхронность поведения элементов в ассоциациях, сформированных процессом переработки пород.

Анализ матрицы вариаций методом главных компонент выделяет эти ассоциации. Картирование значений главных компонент позволяет оконтуривать аномальные геохимические поля, в пределах которых проявились "следы" процессов привноса-выноса и любой другой дифференциации вещества. Комплекс химических элементов, отмечающий обогащение АГП, свидетельствует о возможном типе оруденения. Контрастность проявленной аномальности антикорднатных комплексов привноса-выноса зависит от интенсивности прошедших метасоматических процессов и, по-видимому, может указывать на масштабы возможного оруденения.

Метод главных компонент (как один из методов факторного анализа) в настоящее время широко применяется для решения задач различных отраслей геологии. Применению к некоторым задачам геологии факторного анализа вообще и метода главных компонент, в частности, посвящена монография [2]. Направленность данной работы не позволяет детально рассматривать содержание и аспекты применения метода главных компонент в геологических приложениях. В связи с этим ниже очень кратко обсуждаются причины недостаточной эффек-

тивности применения в задачах геохимических поисков классических вариантов метода главных компонент. В заключение данного раздела рассмотрена содержательная интерпретация применяемого в методике "ГЕОПОЛЕ" варианта метода главных компонент.

Классический вариант метода главных компонент основан на анализе ковариационной матрицы. Как известно, диагональные члены этой матрицы представляют собой дисперсии соответствующих признаков. Различие в порядках концентраций геохимических элементов (например Zn в $\chi \cdot 10^{-2}$, Ag в $\chi \cdot 10^{-6}$ и т.п.) определяет, что всегда дисперсия содержаний Zn больше дисперсии Ag в 10^8 раз. Отсюда в первой компоненте в результате анализа ковариационной матрицы из этих двух элементов всегда будет присутствовать Zn и никогда Ag . И это вне зависимости от присутствия аномалий по Ag при отсутствии таковых по Zn .

Другой известный вариант метода главных компонент основан на анализе корреляционной матрицы (нормированной стандартными отклонениями ковариационной матрицы).

Анализ корреляционной матрицы позволяет выделить взаимосвязанные ассоциации элементов. В данном случае уже все элементы равноправны. Этот метод, учитывая факт зависимости величины коэффициента корреляции от наличия и контрастности аномалий, в определенной мере отвечает существу задачи выделения ассоциаций. В i -ю главную компоненту в данном случае будут выделены элементы с наибольшей связностью в процессе геохимического рассеяния и, возможно с синхронно контрастными аномальными концентрациями. Полностью ли отвечает данный метод нашей задаче? Не вполне. Во-первых, в данном случае мы не различаем величину коэффициента корреляции, порожденную, с одной стороны, компактностью точек возле прямой при отсутствии аномальных концентраций и, с другой стороны, порожденную наличием аномалий. Во-вторых, в данном случае нет количественного выражения степени контрастности ореольных концентраций по отношению к фоновым.

Предлагаемый нами метод главных компонент, анализирующий матрицу вариаций (10), в наибольшей степени отвечает тем задачам, которые нам необходимо решить для выделения геохимических ассоциаций элементов, участвующих в ореолообразовании. Прежде всего, следует отметить, что в матрице вариаций дисперсии нормированы так, что все исследуемые элементы имеют одну шкалу и один масштаб изменения. Это — неперемное условие успешного использования

метода главных компонент. Корреляционная матрица также удовлетворяет этому требованию. Однако в ней потеряна информация о не-однородности концентраций, присутствующая в матрице вариаций.

Каждый диагональный член матрицы вариаций (10) это квадрат коэффициента вариации, величина которого отражает наличие и степень контрастности аномальных концентраций для конкретного признака. Недиагональные члены ее, кроме контрастности, одновременно через величину коэффициента "корреляции" отражают еще и степень конкордантности поведения элементов в ореолообразующем процессе. Отсюда, первая главная компонента будет объединять элементы, ореольные концентрации которых максимально отличаются от фоновых и, кроме того, поведение которых при переходе от фона к ореолу-конкордантно или антикордантно. Именно этими свойствами должны обладать элементы-индикаторы ореолов рудных месторождений. Вторая компонента будет объединять элементы с менее контрастными концентрациями, но синхронным поведением между собой и т.п.

В результате на площади опробования по значениям компонент в пробах могут быть построены карты поведения выделенных ассоциаций. Значение любой (j -й) главной компоненты матрицы вариаций в любой (i -й) пробе вычисляется по формуле:

$$y_{ji} = \sum_{k=1}^m g_{jk} \cdot \frac{C_{ki} - \bar{C}_k}{\bar{C}_k}, \quad (II)$$

где g_{jk} - весовой коэффициент для k -ого элемента в j -й главной компоненте; C_{ki} - содержание k -ого элемента в i -й пробе; $\bar{C}_k$ - среднее значение содержаний k -ого элемента в массиве данных.

Следует заметить, что при вычислениях по формуле (II) в качестве содержания k -ого элемента в i -й пробе (C_{ki}) и его среднего ($\bar{C}_k$) должны выступать те же составляющие геохимического поля, для которых вычислялась матрица рассеяния (10). Методика "ГЕОПОЛЕ" предусматривает вычисление матрицы вариаций (10) для составляющей эпигенетического рассеяния $\hat{C}_{ан}(z)$ или для детерминированной составляющей $\hat{C}(z)$ полученной в результате фильтрации только высокочастотных "шумов" (8). Последний вариант вычислений следует применять при обработке материалов крупномасштабных исследований, когда разновидности пород (и их формы) неразличимы. Кроме того, можно вести и обработку исходных данных $\xi(z)$.

В результате картирования значений главных компонент исследователь получает карты, разрезы, отражающие распределение в ис-

следуемом пространстве наиболее контрастных комплексных показателей дифференциации вещества при ореолообразовании.

Показатель дифференциации вещества, отображающий проявление процессов привноса-выноса, определяет информативную дихотомию исследуемого пространства. Аномальные геохимические поля позволяют расшифровать пространственную структуру зон обогащения и оценить тип возможного скрытого оруденения. Показатели дифференциации помогают уточнить состав типоморфного комплекса элементов и (или) специфику зональности АГП.

П.5. О сканирующих алгоритмах

Для линейно упорядоченных массивов данных (результатов опробования профилей, канав, скважин и т.п.) методика "ГЕОПОЛЕ" допускает дополнительную обработку материала в блоке "выявления типоморфных ассоциаций" по алгоритму класса сканирующих (см. рис. I).

Сканирующие алгоритмы "просматривают" исследуемое пространство вдоль профилей, скважин, канав или вдоль искусственно задаваемой сети сканирования, покрывающей изучаемую площадь (объем). В комплексе алгоритмов "ГЕОПОЛЕ" осуществлена возможность сканирующего изучения линейно упорядоченных множеств проб. Критерий сканирования наипростейший. Выявляются комплексы элементов, по которым аномальны группы соседних проб. Прослеживая смену аномальных ассоциаций вдоль профилей сканирования на разрезах и планах, можно получить детальное (на уровне отдельных проб) представление о зональной структуре исследуемого пространства.

Для работы сканирующего алгоритма необходимы минимально-аномальные значения и пороги зон выноса для всех разновидностей пород в исследуемом материале, которые вычисляются в методике "ГЕОПОЛЕ" на этапе определения фоновых характеристик пород. Перед работой сканирующего алгоритма содержания элементов в пробах нормируются с помощью указанных характеристик. Если необходимо выделять только положительные аномалии, то нормировка проводится делением на минимально-аномальные значения:

$$C_{ki}^{норм} = \frac{C_{ki}}{C_{k мин-ан}}, \quad (I2)$$

где i - номер пробы; k - номер элемента; $C_{k мин-ан}$ - минимально-аномальное значение k -того элемента для разновидности пород, из которой взята эта проба.

При необходимости выделения и отрицательных аномалий содер-

лания нормируются следующим образом:

$$C_{ki} = \frac{C_{ki} - C_{k\text{фон}}}{|C_{k\text{порог}} - C_{k\text{фон}}|} \quad (13)$$

Причем, если числитель в (13) положителен, то $C_{k\text{порог}}$ принимается равным минимально-аномальному значению. При отрицательном числителе $C_{k\text{порог}}$ принимается равным пороговому значению для зон выноса.

После нормирования данные имеют вид (с точностью до целого), аналогичный представленному для примера в табл.1.

Т а б л и ц а 1
Результаты нормирования перед работой сканирующего алгоритма

№ пробы	Порода	Au	Ag	Pb	Mo	Sn	W	Cd	Y	Yb
1.	Базальт	0	0	1	0	2	0	0	1	-1
2.	"	1	0	0	-1	1	1	0	0	-1
3.	"	1	2	1	0	0	0	1	0	1
4.	"	2	4	1	1	0	0	0	1	0
5.	Дацит	1	0	2	0	1	1	0	0	1
6.	"	3	12	4	0	0	-1	0	0	0

В такой таблице положительные числа означают положительную аномальность соответствующего элемента в пробе, отрицательные числа - отрицательную аномальность. Число ноль означает, что содержание соответствующего элемента близко к фоновому (не превышает минимально-аномальное значение и не ниже порога для зон выноса).

В результате работы алгоритма заказчику выдается последовательность выделенных геохимических ассоциаций в виде, аналогичном табл.2.

Т а б л и ц а 2
Результаты работы сканирующего алгоритма

Порода	Интервал опробования	№ пробы	Ассоциации
Базальт	0. - 5	1	Sn Yb
"	5. - 10	2	Sn Yb
			I. -I.
"	10. - 15.	3	Au Ag Pb
"	15. - 17	4	Au Ag Pb
Дацит	17. - 21.	5	Au Ag Pb
"	21. - 25.	6	Au Ag Pb
			4. 2. 2.

Для каждой группы проб со своим набором аномальных элементов подсчитывается средняя степень аномальности с точностью до целого числа.

Ограничением для широкого применения сканирующих алгоритмов является сложность автоматического обобщения результатов, полученных по нескольким разрезам, скважинам, в единую схему. Дело в том, что при большой детальности даже близкие ассоциации на двух соседних профилях отличаются одним, двумя и даже тремя элементами, что не позволяет найти формальный метод их объединения. Естественно, что исследователь может составлять подобные схемы, так как ему известна из опыта последовательность элементов по важности и возможность временно пренебречь некоторыми из них.

Итак, сканирующие алгоритмы выделения ассоциаций геохимических элементов весьма наглядны, информативны и легко интерпретируются. Однако они очень сложны для автоматического построения обобщающих схем. По этой причине методика "ГЕОПОЛЕ" опирается, в основном, на метод главных компонент.

П.6. 0 нормировании мультипликативных показателей при обработке геохимических данных площадного опробования

Наиболее простая ветвь в блоке "выявления типоморфных ассоциаций" (см. рис.1) предусматривает решение задачи в условиях, когда исследователь хорошо знает тип искомого оруденения и набор элементов-индикаторов его ореолов. Тогда он задает вид отношения элементов-индикаторов и в результате обработки получает значения его в каждой пробе для оконтуривания аномалий, а также их различных зон. Одним из распространенных в практике работы геохимиков является коэффициент зональности [1]. В последние годы появился ряд работ [12,14], в которых вводится коэффициент интенсивности оруденения.

Оба коэффициента строятся в виде отношения произведений содержания элементов. При вычислении коэффициента зональности в числителе перемножаются содержания надрудных элементов, а в знаменателе - подрудных. Для коэффициента интенсивности в числителе используются элементы, накапливающиеся в руде, а в знаменателе - элементы выноса. При исследовании околорудных ореолов используется свойство монотонного уменьшения коэффициента зональности с глубиной. Однако монотонность коэффициента зональности имеет место лишь на ограниченном интервале глубин, а именно в пределах

рудных горизонтов. При обработке геохимических данных опробования дневной поверхности или горных выработок, когда отсутствует информация о местоположении рудных тел (поисковая ситуация), методика оценки эрозийного среза ореола должна учитывать принципиальную немонотонность коэффициента зональности.

Математический анализ функций типа указанного индикаторного отношения позволяет сформулировать следующие положения [7].

1. Коэффициент зональности есть немонотонная функция, имеющая хотя бы один максимум и хотя бы один минимум и область монотонного уменьшения от максимума к минимуму на интервале глубин рудных горизонтов (рис. 7а).

2. Коэффициент интенсивности есть немонотонная функция, имеющая хотя бы один максимум в руде и зону пониженных, по сравнению с фоном, значений, "окружающую" околорудное пространство (рис. 7б).

Из немонотонности функций индикаторных отношений следует, что оценка расстояния исследуемого среза до руды по значениям рассматриваемых коэффициентов требует значения градиента этих коэффициентов. Для оценки градиента необходимы данные не менее, чем двух горизонтов. Только убедившись, что исследуемые зоны ореола характеризуются уменьшением коэффициента зональности с глубиной, можно оценивать расстояние до эпицентра ореола. По данным опробования одного горизонта (в том числе одной дневной поверхности) нельзя надежно и однозначно оценить уровень эрозийного среза по значению коэффициента зональности.

Однозначная интерпретация области значений рассматриваемых коэффициентов может быть получена с помощью нормированного индикаторного отношения:

$$I_0 = \frac{M_0^{(4)}}{M_0^{(3H)}} = \frac{\prod_{i=1}^m \frac{C_i^{(4)}(z)}{C_{\Phi i}^{(4)}}}{\prod_{i=1}^m \frac{C_i^{(3H)}(z)}{C_{\Phi i}^{(3H)}}} = I \cdot \prod_{i=1}^m \frac{C_{\Phi i}^{(3H)}}{C_{\Phi i}^{(4)}}, \quad (14)$$

где I_0 - нормированное, а I - ненормированное индикаторное отношение; M_0 - мультипликативная нормированная функция; $C_i(z)$ - содержание i -го элемента в пробе (интервале, горизонте) с координатой z в рассматриваемом сечении ореола; $C_{\Phi i}$ - среднефоновое содержание i -го элемента; знаки (4) и (3H) относятся к числителю и знаменателю соответственно.

Однозначность интерпретации области значений любого норми-

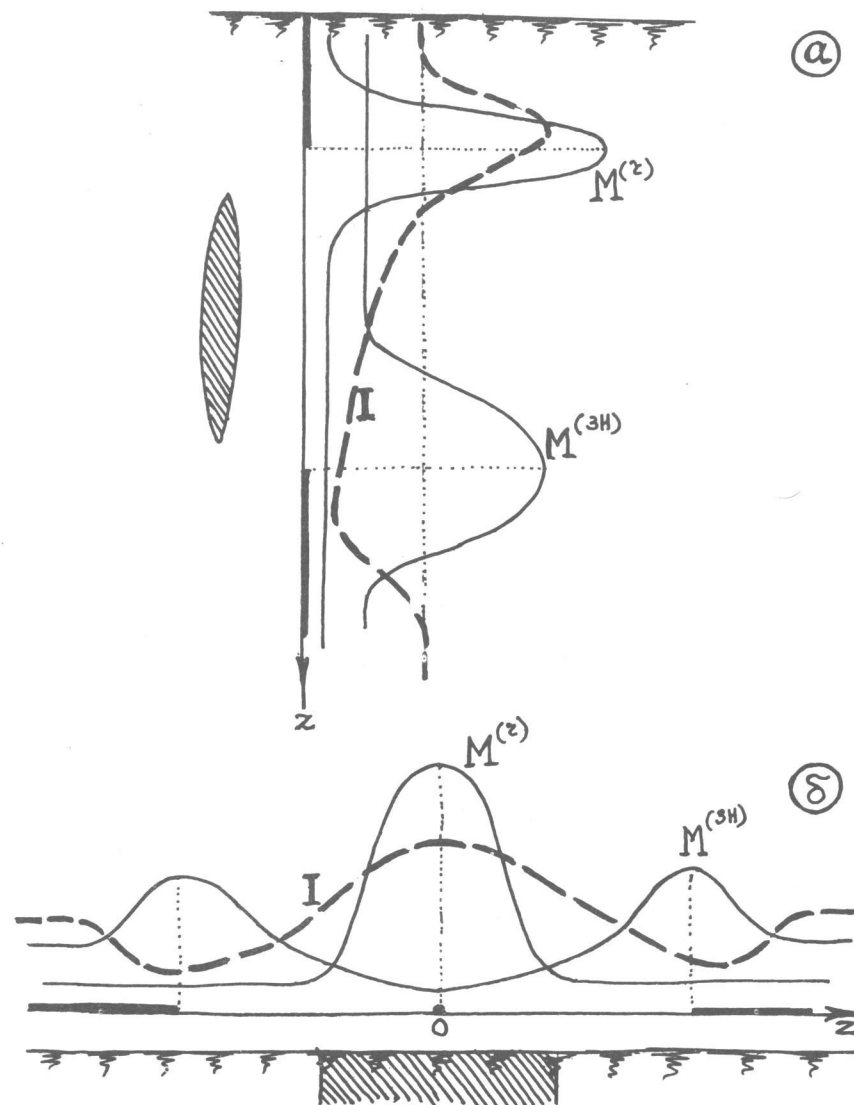


Рис. 7. Функции индикаторных отношений
а - коэффициент зональности в вертикальном сечении;
б - коэффициент интенсивности в сечении на поверхности

рованного индикаторного отношения состоит в следующем:

для коэффициента зональности для коэффициента интенсивности

$$I_0 = \begin{cases} = I \text{ в зоне фона,} \\ > I \text{ в надрудной зоне,} \\ < I \text{ в подрудной зоне} \end{cases} \quad I_D = \begin{cases} = I \text{ в зоне фона,} \\ > I \text{ в близрудной зоне,} \\ < I \text{ в окружении близрудной зоны} \end{cases}$$

Значения рассматриваемых нормированных коэффициентов I_0 , вычисленные в точках опробования сингенетичного поля рассеяния, не всегда равны точно единице. Отклонения от единицы обусловлены как функциями геохимического поля, вследствие его микронегоднородностей, так и систематическими ошибками при наличии трендов фоновых концентраций. Кроме того, используемые при вычислениях значения содержаний (C_i) включает в себя погрешности отбора и обработки проб, а главное — ошибки спектрального анализа. Описанные нами выше методы фильтрации снимают в значительной степени случайные ошибки анализа и высокочастотные флуктуации геохимического поля. Можно показать [7], что в поле сингенетичного рассеяния значения нормированного индикаторного отношения I_0 отличаются от единицы не более, чем на один десятичный порядок.

Таким образом, перспективные надрудные аномалии на поверхности можно оконтуривать достаточно надежно посредством коэффициентов интенсивности и зональности. В пределах перспективных участков десятичные порядки значений обоих коэффициентов должны быть выше первого.

III. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ "ГЕОПОЛЕ" НА ЭВМ

Алгоритмы методики "ГЕОПОЛЕ" запрограммированы на языке Фортран. Программы ориентированы на ЭВМ типа ЕС, отлажены в ВЦ ИМГРЭ и опробованы на ВЦ ряда ПГО страны. Все обрабатывающие программы предусматривают ввод исходной информации из хранилища (базы данных), организованного информационно-поисковой системой "ГЕОНАВТ" (разработка ИМГРЭ).

III.1. Организация банка первичных геохимических данных посредством АИПС "ГЕОНАВТ"

Результаты спектрального анализа содержаний химических элементов в пробах необходимо ввести в память ЭВМ для использования в качестве входной информации комплексами машинных программ, реализующих методику "ГЕОПОЛЕ". Этап подготовки данных в машинном

виде является достаточно трудоемким и складывается из следующих операций:

1) подготовка документации геолога к перфорации на машинных носителях информации (перфокартах, перфолентах, магнитных лентах); 2) перфорация данных; 3) ввод в ЭВМ, контроль формальной структуры данных, исправление ошибок перфорации, накопление и хранение первичных данных в долговременной памяти вычислительной машины; 4) поиск необходимой в данный момент времени порции информации в хранимом массиве и передача на вход обрабатывающим программам.

Для осуществления этих операций используется АИПС "ГЕОНАВТ", имеющая некоторые дополнительные средства для ведения больших массивов первичных данных. Кроме геохимических данных "ГЕОНАВТ" может вводить в память ЭВМ и другие виды информации. Логическая организация данных в рамках АИПС позволяет полностью учесть особенности первичной информации для задач прикладной геохимии, структуризовать ее, использовать для передачи данных существующие каналы абонентской телеграфной связи, учесть конструктивные особенности устройств подготовки данных и устройств ввода, функционирующих в составе ЭВМ. Для этого используется специализированный язык описания данных.

Основным понятием языка описания данных является машинное слово, понимаемое как последовательность символов алфавита ЭВМ, ограниченная справа символом-разделителем. В качестве разделителя используется знак двоеточие(":"). Структура, т.е. внутренняя логика машинного слова может быть различной. Она определяет способ употребления слова для представления на носителе тех или иных данных, необходимых для решения геохимических задач. Программы АСОД ГППИ, выполняющие функцию ввода данных в ЭВМ, различают

- машинное слово-шифр,
- машинное русское слово,
- машинное латинское слово,
- машинное слово-порядковый номер,
- машинное слово-данное.

Двоеточие, понимаемое всегда как символ-разделитель, не может входить в состав ни одного машинного слова.

Таковыми символами-разделителями являются еще три знака:

- "(" — круглая скобка левая,

- ")" - круглая скобка правая.

- "/" - косая черта.

Машинное слово-шифр может состоять из последовательности любых символов, исключая служебные и разделители. В русское слово могут входить буквы русского алфавита, цифры и тире. Наличие прочих знаков в машинном русском слове считается ошибкой. В латинском слове допускаются буквы латинского алфавита, цифры и тире. Присутствие в машинном латинском слове иных знаков расценивается как ошибка. Порядковый номер может быть построен только из цифр. Его значением является всегда целое число. Знаки, отличные от цифр, в этом машинном слове недопустимы. Слово - данное имеет наиболее сложную структуру, эта структура отражает характер первичных геохимических данных. Основу слова - данного составляет число, которое может иметь форму целого числа, числа с десятичной запятой или форму числа с показателем степени десятки (иначе - форму с плавающей запятой).

Числовой корень может иметь префикс и (или) суффикс. Префиксы и суффиксы могут изменять значение числовой части данных. Ниже перечислены допустимые формы префиксов и действие с числовой частью слова, производимое ЭВМ:

"ББ"	-	числовая часть умножается на коэффициент	1,500	
"Б"	-	"	"	1,250
"БР"	-	"	"	1,125
"МР"	-	"	"	0,875
"М"	-	"	"	0,750
"ММ"	-	"	"	0,500

Наличие суффикса после числового корня означает изменение размерности вводимого значения. Формы суффиксов и соответствующая им размерность приведены ниже:

"ПР" или "ПЦ" - проценты

"РМ" или "ПМ" - промилле

"РРМ" или "ППМ" - пропромилле.

Числовая часть данного может иметь алгебраические знаки "+" или "-". В связи с особенностями первичной информации в качестве слова-данного может употребляться знак "-" (прочерк) или слова "след" и "сл". Прочерк заменяется при вводе в ЭВМ на нулевое значение, а "след" (и "сл") на половину чувствительности метода определения концентраций соответствующего химического элемента.

Пример слова - данного:

124: 75.2: 75,2: 0.3: 5E-4: 5.2E+2: -:

Б7ПР: 18РРМ: 2ПМ: ММ3.3: ББ10ПЦ: СЛЕД: СЛ:

Максимальная длина слова-данного составляет 24 символа, включая знаки плюс, минус, точку и (или) запятую, символ Е.

Машинные слова перечисленных типов позволяют представлять отдельные реквизиты, или элементы данных, необходимые для решения задач. Приведем перечень реквизитов, используемых АИПС АСОД ГППИ в настоящее время:

- наименование (имя) геологического объекта;
- наименование информационного макета (выборки данных);
- наименование класса геологического объекта;
- наименование (шифр) владельца данных;
- наименование (имя) признака;
- чувствительность метода анализа химического (элементного) состава проб;
- масштабный множитель для перфорируемых данных;
- наименование (шифр) точки опробования;
- наименование горной породы;
- координата X;
- координата Y;
- координата Z;
- весовой коэффициент;
- примечание текстовое (печатаемый комментарий, сопровождающий точку опробования);
- индекс (имя), идентифицирующий группу проб;
- порядковый номер пробы в некоторой логической последовательности;
- интервал опробования начальный;
- интервал опробования конечный;
- числовое данное:

Этот перечень может, очевидно, измениться в ходе развития АСОД ГППИ. Обычно реквизиты объединяются в некоторые ограниченные совокупности, называемые логическими записями. В рамках АСОД ГППИ каждую логическую запись в общем потоке вводимых в ЭВМ символов выделяют круглыми скобками: начало логической записи обозначается левой скобкой, а конец - правой. Количество машинных слов, объединяемых в логическую запись, может быть различным, но количество знаков в ней (включая скобки и двоеточия) не может превышать 2000. Практика показывает, что такая длина записи не

препятствует решению тех задач АСОД ГППИ, которые программно реализованы в настоящее время. Для описания геологического объекта с необходимой полнотой в АСОД ГППИ используются логические записи нескольких различных типов. Одни содержат информацию, относящуюся либо к геологическому объекту в целом, либо к некоторой его части, либо к отдельной его точке, называемой точкой опробования.

Логические записи, объединенные в некоторую фиксированную структуру, называют информационным макетом. Информационный макет является единицей ввода, накопления, хранения и поиска данных для автоматизированной информационно-поисковой системы (АИПС) АСОД ГППИ.

Ряд логических записей, несущих обобщенную информацию, составляет шапку макета. Набор логических записей, описывающих отдельные точки опробования, составляет тело макета.

В шапку макета входят наименования объекта, самого макета (выборки данных), класса объектов, владельца данных, перечень имен признаков, чувствительность анализа в соответствии с перечнем признаков, масштабные множители для всех признаков.

Последняя логическая запись шапки макета, именуемая шаблоном, описывает структуру тела макета, т.е. состав реквизитов и их последовательность в логической записи, описывающей строку данных. Для задач геохимии строка данных представляет одну геохимическую пробу. Для обозначения реквизитов внутри шаблона приняты следующие ключевые слова:

- "№ пробы:" - для наименования (шифра) точки опробования;
- "порода:" - для наименования горной породы;
- "x:" - для координаты x ;
- "y:" - для координаты y ;
- "z:" - для координаты z ;
- "весовой коэффициент:" - для весового коэффициента;
- "примечание:" - для примечания текстового;
- "индекс аномалии:" - для индекса группы проб;
- "№ III:" - для порядкового номера проб в логической последовательности;
- "Интервал-1:" или "интервал1:" - для интервала начального;
- "интервал-2:" или "интервал2:" - для интервала конечного;
- "данные:" - для совокупности числовых данных.

В соответствии с принятым при описании данных принципом име-

нования точек опробования единственным обязательным ключевым словом в шаблоне является "№ пробы:". Использование или неиспользование прочих ключей является компетенцией владельца данных.

Существует еще одно ограничительное требование к структуре строки-шаблона: ключ "данные:" должен быть в ней последним, т.е. в строках тела макета числовые данные должны следовать за прочими реквизитами.

Для программного комплекса "ГЕОПОЛЕ" из всех возможностей "ГЕОНАВТА" целесообразно использование следующего конкретного варианта подготовки к вводу в ЭВМ данных пользователя-геохимика.

Ведомости с результатами анализов, получаемые из лабораторий, не переписываются!

Слева на свободных полях или на приклеенной полоске бумаги может приписываться следующая информация:

1) пространственная привязка каждой пробы: две координаты в любом масштабе измерения в прямоугольной декартовой системе X и Y (в см, м, км) для площадной съемки или интервалы опробования для линейных горных выработок (начало и конец интервала, или одна координата середины интервала, или длина пробы); 2) название породы для каждой пробы; 3) любой текстовой или числовой индекс пробы.

Пространственная привязка необходима и для проведения процедуры фильтрации данных и для автоматического построения карт и разрезов. Названия пород вводятся по усмотрению геолога. Эта информация желательна при первой обработке материалов в районе, особенно при съемках средних масштабов. Индекс пробы имеет смысл вводить для того, чтобы по его значению разделить затем весь материал на отдельные макеты (например отмечать номер горизонта или кодировать номер реки, по донным осадкам которой проведено опробование). Последнее необходимо в том случае, когда последовательность проб в ведомостях произвольная.

Лучше всего весь материал делить на макеты, собирая макет на этапе подготовки ведомостей (для чего иногда приходится резать и клеить). В виде отдельного макета следует оформлять данные опробования одной скважины, одной канавы, одного профиля. Из нескольких макетов можно составлять любые комбинации исходного материала для обработки. Выделение же частей из одного общего в банке данных на ЭВМ требует больших затрат машинного времени и имеет некоторые ограничения.

III.2. Программное обеспечение методики "ГЕОПОЛЕ"

Все описанные выше алгоритмы, составляющие в комплексе методику "ГЕОПОЛЕ", запрограммированы на языке FORTRAN и функционируют в ВЦ ИМГРЭ на ЭВМ типа ЕС. Большинство программных модулей описано в инструктивном материале [8]. К настоящему времени многие модули, работающие последовательно, собраны в комплексные программы.

Комплексные программы созданы в двух вариантах – программа SQUARE для обработки геохимических данных площадной съемки и программа LINE для обработки серии профилей и линейных горных выработок (канав, скважин, штолен и т.п.). Все пробы при площадной съемке должны характеризоваться двумя координатами. Привязка проб в линейных выработках может быть осуществлена по одной координате, по интервалам опробования (начало и конец) или по длинам проб с соблюдением последовательности проб в представляемом материале.

Комплексные программы LINE и SQUARE составлены из модулей созданных ранее программ. В программе LINE использован способ программирования с перекрывающимися фазами. Принципиальное различие программ LINE и SQUARE заключено в организации процесса высокочастотной фильтрации. Модули программы GLASS осуществляют фильтрацию скользящим прямоугольником по площади исходных данных, а модули программы FILTER – скользящим интервалом переменной длины. Результаты высокочастотной фильтрации записываются на рабочий диск. Программы GLASS и FILTER могут использоваться и автономно.

Низкочастотная фильтрация осуществляет выделение искомой эпитгенетической составляющей $C_{ан}(z)$. Вызов модуля NORMIR в соответствующем режиме приводит к вычитанию из детерминированной составляющей $[C_{ф} + C_{ан}(z)]$ среднефоновых содержаний $C_{ф}$, определенных заранее программой DENSITY или заданных исследователем по другим источникам информации. Программа DENSITY может обрабатывать как результаты сглаживания, так и исходные данные.

В результате работы программных модулей блока стандартизации в памяти ЭВМ запоминаются значения аномальной составляющей $C_{ан}(z)$ по каждому исследуемому химическому элементу в каждой точке пробоботбора. Именно эти данные, несущие информацию об анизотропии эпитгенетического геохимического поля, используются для выделения продуктивных аномалий.

Основным средством определения геохимической специализации продуктивных аномалий в методике "ГЕОПОЛЕ" является метод главных компонент – программа COMPONENT, модули которой включены в комплексные программы SQUARE и LINE. Все данные из исследуемого материала, вызванные программами LINE или SQUARE и прошедшие полосу фильтрации, используются для формирования матрицы рассеяния. Возможных режимов вычисления матрицы рассеяния в программах несколько. Рекомендуемый методикой "ГЕОПОЛЕ" режим – матрица вариаций (I0). Процедура вычисления главных компонент по сформированной матрице рассеяния стандартная – методом Якоби (модуль заимствован [24]). Значения показателей дифференциации вещества (главных компонент) в точках пробоботбора вычисляются по формуле (II) в конце программ COMPONENT, SQUARE и LINE. Вычисление значений главных компонент в дополнительных точках пробоботбора можно вести программой COMZAK.

В комплексную программу LINE введены также модули разработанной ранее программы PROFILE, автоматизирующей традиционный алгоритм совмещения моноэлементных ореолов – сканирование линейных горных выработок. Для нормирования данных в соответствии с (I2) или (I3) перед сканированием используется модуль NORMIR в соответствующих режимах.

Вычисление задаваемых показателей, мультипликативных или аддитивных, с нормированием или без, по исходным данным или по результатам фильтрации, может быть осуществлено отдельной программой MULTIPLY.

Все программы обрабатывают одновременно до 40 элементов при количестве разновидностей пород, не превышающем 30. Эти программы имеют существенное ограничение: одновременная обработка возможна не более чем для 750 проб (или 1000 проб при максимальном количестве элементов 30). В настоящее время (1984 г.) идет отладка ряда программ, рекомендуемых методикой "ГЕОПОЛЕ", в которой объем одновременно обрабатываемых проб ограничен объемом диска в системе "ГЕОНАВТ", а именно – 11000.

Работа на вычислительной машине ведется следующим образом.

Все данные накапливаются в хранилище в соответствии с системой АИПС "ГЕОНАВТ". Желательно контролировать правильность данных посредством просмотра распечаток данных по системе "ГЕОНАВТ", а также с помощью специальной обслуживающей программы SPROUL (автор И.В.Бакина, ИМГРЭ). Последняя очень полезна для контроля за

названиями пород в пробах.

Совокупность макетов по определенной территории, которую следует обработать, переписывается из хранилища на рабочий диск. Необходимо иметь возможность делать копии рабочего диска на магнитной ленте, для того, чтобы сохранить результаты различных этапов обработки. Ведется запись результатов фильтрации, значений главных компонент и значений задаваемых комплексных показателей в каждой пробе на тот же рабочий диск, в тот же файл данных. Следующие по блок-схеме программы читают эти данные с диска и обрабатывают дальше.

Для разности значений вычисленных комплексных показателей (главных компонент или заданных коэффициентов) на планы и разрезы привлечены программы 1KART и 3KART, написанные С.И. Ашкиназе (БИГЭ ИМГРЭ). Программы допускают также разность содержаний отдельного элемента как из исходного материала, так и после высокочастотной фильтрации.

Полученные на АЦПУ планы и разрезы дорабатываются вручную, совмещаются при необходимости. Рекомендуется выносить на них основные элементы геологического строения. Карты такого рода являются выходными документами, получаемыми по методике "ГЕОПОЛЕ".

IV. ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭВМ ПО МЕТОДИКЕ "ГЕОПОЛЕ"

Аномальные геохимические поля, которые выделяются посредством методики "ГЕОПОЛЕ" на дневной поверхности по результатам геохимической съемки, являются срезами околорудных ореолов. Ассоциация элементов привноса в АПГ дает оценку комплекса типоморфных признаков. Соотношение элементов привноса и выноса позволяет судить об интенсивности процессов метасоматоза и, по-видимому, об уровне эрозийного среза.

Проверим эти характеристики сначала на материалах известных месторождений, а затем продемонстрируем работу методики на поисковом материале от масштаба 1:50000 до детальных поисков с проходкой горных выработок и бурением.

IV.1. Обработка данных геохимической площадной съемки на территории с известными месторождениями

Продемонстрируем работоспособность методики "ГЕОПОЛЕ" на материале площадной геохимической съемки в пределах территории, на

которой известны месторождения и рудопроявления меднопорфирового типа.

Территория площадью 16 x 6 кв.км была покрыта съемкой масштаба 1:10000. По разреженной сети проб, приближающейся к результатам съемки масштаба 1:25000, были проведены все необходимые вычисления, согласно методике "ГЕОПОЛЕ". В расчетах участвовали данные по 559 пробам, проанализированным на 17 элементов: Li, Sr, V, Ni, Co, Cu, Ag, Zn, Pb, Bi, Sn, Mo, Au, Rb, Cs, Na, K.

Два основных показателя дифференциации вещества на территории, выделенные методом главных компонент по матрице вариаций сглаженных данных, оказались следующими:

$$G_1 = 0,82Mo + 0,48Cu + 0,26Ag - 0,14Cr$$

$$G_2 = 0,75Au + 0,49Cr + 0,30Cu + 0,14Ag - 0,17Ni - 0,15Co - 0,13V - 0,11Mo - (\text{форма нормирования содержаний приведена в (II)}).$$

На рис.8 показано распределение значений этих двух показателей на исследуемой территории. Аномальные геохимические поля с положительными значениями первого показателя (см.рис.8а) отмечают крупное месторождение в центральной части, известное олепное месторождение на востоке и плохо разведанное пока рудопроявление на западе территории. Изолинии геохимического поля с отрицательными значениями первого показателя четко оконтуривают зону обогащения, имеющую субширотное простирание и включающую в себя все аномальные геохимические поля.

Во втором показателе дифференциации вещества мы видим следы противопоставления элементов привноса (Au, Cu, Ag) и тех фемафилных элементов (Ni, Co, V), которые в последнее время отмечаются как обычные элементы выноса из зоны обогащения [13]. Интересно положение хрома во втором показателе - конкордантное с рудными элементами (медью), в то время как первый показатель отмечает факт их антикордантности.

Проведенное Е.М. Поплавко скрупулезное исследование содержания хрома в различных породах в поднятых и опущенных блоках (с привлечением программы DENSITY) показало, что поднятые блоки, в том числе корневые части месторождения, гораздо богаче хромом, чем опущенные блоки (верхние части месторождения). К тому же на месторождении уже установлен факт обогащения корневых частей месторождения полиметаллами. Все это позволяет считать второй показатель дифференциации вещества G_2 показателем относительной эродированности.

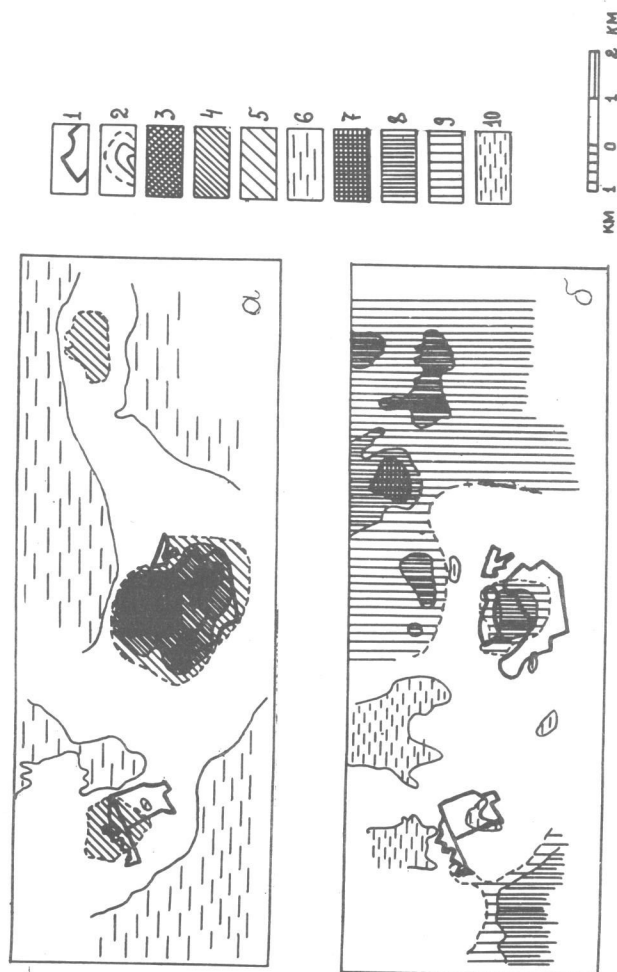


Рис. 8. Схема распределения двух показателей дифференциации вещества на территории проявления оруденения мелнопорохового типа

1 - контуры известных месторождений; 2 - изолинии значений показателей дифференциации вещества (пунктир-нулевая изолиния); 3-6 - градации значений первого показателя (а): 3 - более 3; 4 - от 1 до 3; 5 - от 0 до 1; 6 - менее -1; 7-10 - градации значений второго показателя (б): 7 - более 3; 8 - от 1 до 3; 9 - от 0 до 1; 10 - менее -1

Вывод этот следует из рис. 8б, на котором положительные АГП второго показателя отмечают наиболее поднятый блок на центральном месторождении и всю восточную часть территории при естественном отсутствии аномальности "корневой" ассоциации Au, Cr, Cu, Ag над слепым месторождением на западе. Наиболее сильно эродирован, по-видимому, рудопоявление на востоке исследуемой территории, в связи с чем их перспективность на глубину требует тщательной проверки.

IV.2. Обработка данных крупномасштабного геохимического опробования околорудного пространства на известном месторождении

Продемонстрируем создание геохимического эталона околорудного пространства на примере обработки результатов опробования горных выработок на месторождении золота бананцевого типа. Структура месторождения известна: зоны дробления выполнены кварцем и глинистыми минералами, мощностью порядка десяти метров, в пределах которых встречаются бананцы промышленной руды размерами в несколько десятков метров по падению.

Исследуемый разрез месторождения (рис. 9) включает в себя вертикальное сечение двух рудоносных жил. Восточная жила представлена зоной выклинивания руды, а в западной жиле подсечены рудные тела на горизонтах штолен 9, 1, 8. Расчеты на ЭВМ велись для 48I пробы по результатам анализа 18 элементов: $Ba, V, Ni, Co, Cu, Ag, Zn, Pb, Be, Sn, Mo, W, Ga, Sc, Y, Yb, Zr, Au$.

На рис. 9 представлены результаты работы сканирующего алгоритма. В разрезе отмечены зоны аномальности различных комплексов элементов. Выполненное на ЭВМ "совмещение" моноэлементных ореолов наиболее близко к традиционным способам обработки геохимической информации. Бананцы отмечены наибольшей комплексностью аномалий, наиболее широкие ореолы образуют серебро и цинк; заметно тяготение свинца к верхнерудным зонам. Комплексные аномалии в восточном крае разведанного горизонта штольни 7 позволили предсказать местоположение еще неизвестной зоны - в дальнейшем рудоносность этой новой зоны подтвердилась.

Сопоставим результаты работы сканирующего алгоритма (см. рис. 9) с результатами, полученными по методике "ГЕОПОЛЕ" (рис. 10). Вычисление главных компонент матрицы вариаций позволили выявить следующие показатели дифференциации вещества: $G_1 = 0,70Au + 0,61Ag + 0,31Pb + 0,10Mo$; $G_2 = 0,98Mo + 0,14W - 0,10Ag$ (форма нормирования содержаний приведена в (II)).

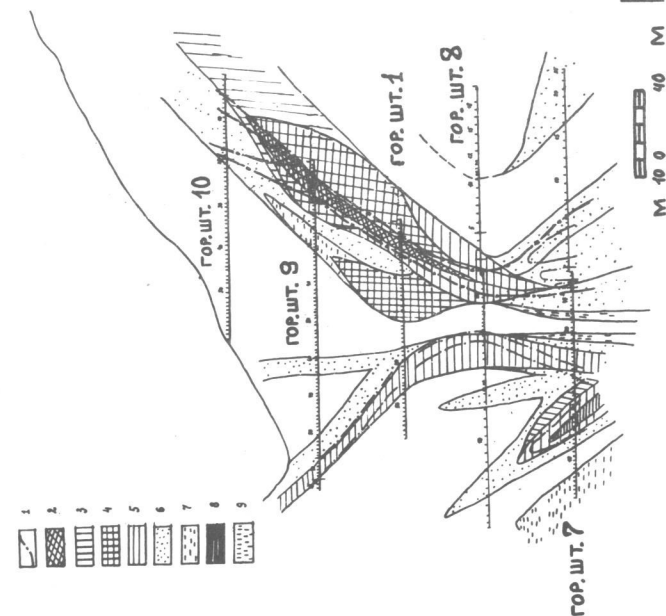


Рис. 9. Схема зональности месторождения в разрезе по результатам работы сканирующего алгоритма
I - тектонические нарушения; 2-9 - комплексные аномалии: 2 - Au, Ag, Pb, Zn, Cu (связаны с рудой); 3 - Ag, Pb, Zn; 4 - Au, Ag, Pb, Zn; 5 - Au, Ag, Zn; 6 - Ag, Zn; 7 - Zn, Cu; 8 - Au, Ag, Zn, Cu, Pb; 9 - Pb, Zn

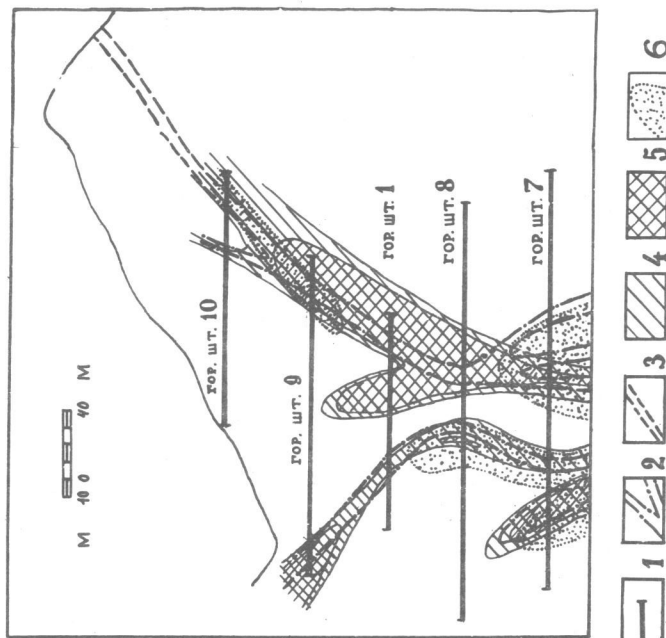


Рис. 10. Схема зональности месторождения в разрезе, полученная по методике "ГЕОПОЛЕ"
I - горные выработки; 2 - тектонические нарушения; 3 - предполагаемое положение рудоносных жил; 4-5 - градиент первого (рудного) показателя дифференциации веществ; 6 - подрудные зоны, отмеченные положительными значениями второго (зонального) показателя дифференциации веществ

Первый показатель - рудный. Его высокими значениями отмечены все рудоносные зоны. Второй показатель - зональный. Ассоциация типичных высокоэнергетических элементов Mo и W, антикордатовых рудному элементу Ag, отмечает нижнерудные уровни в пределах рудоносных жил. Угол падения аномалии второго показателя на горизонтах штолен 9 и 10 предсказал выполаживание рудоносной зоны - позднейшие исследования поверхности в указанном направлении подтвердили там выход кварцевых жил на дневную поверхность.

Преимущества формы представления результатов по методике "ГЕОПОЛЕ" перед сканирующим алгоритмом налицо: интегральный характер общей картины зонального строения ореола; автоматическое определение показателей, допускающих количественное картирование геохимического поля. Преимущества обеспечены используемыми многомерными методами математической статистики.

IV.3. Обработка данных геохимической площадной съемки масштабов 1:50000 и 1:25000 на этапе предварительных поисков

Продemonстрируем предлагаемую методику на одном из районов Забайкалья, выделенного в качестве перспективного по результатам более мелкомасштабных построений [20].

Исследуемый район занимает краевую часть поднятого мезозойского блока, окаймленного меловыми депрессиями, и имеет площадь 25 x 35 кв. км. Здесь развиты вулканогенно-осадочные толщи средней и верхней юры - нижнего мела, гипабиссальные интрузии мезозоя и все главные системы тектонических нарушений, типичные для Восточного Забайкалья, их сопряжения и пересечения. Район выделен как перспективный на редкометалльно-сульфидный тип минерализации, который может оказаться профилирующим на большей части территории. Кроме того, на отдельных участках и флангах района предполагается весьма возможным проявление золото-серебряного типа минерализации (аналогичного месторождению Балея). Промышленного оруденения в районе пока не было обнаружено.

Геохимические поиски масштаба 1:50000 сопровождалось картированием структур, благоприятных для локализации искомого оруденения, всех проявлений мезозойского магматизма, изучались гидротермальные метасоматиты. Выделены две пересекающиеся системы тектонических разломов, жерла палеовулканов, поля ярких магматических проявлений, ареалы гидротермально измененных пород (отмечено на рис. 12).

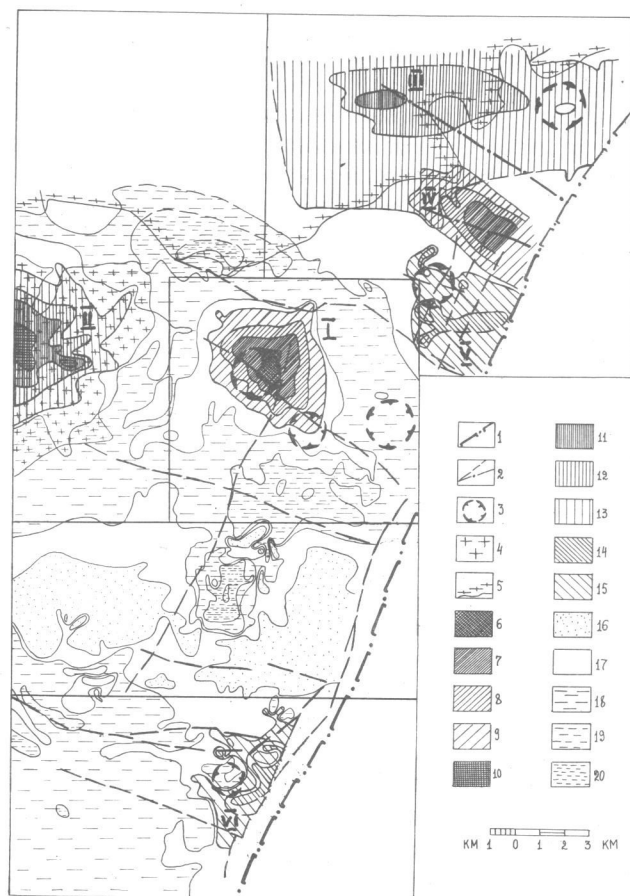


Рис. II. Схема строения геохимического поля на территории исследуемого района, полученная по методике "ГЕОПОЛЕ"

1 - борт меловой депрессии; 2 - тектонические нарушения; 3 - предполагаемые жерла палеовулканов; 4 - граниты J_{2-3} ; 5 - экзоконтант гранитоидов Р-Т; 6-9 - градации положительной аномальности типоморфных комплексов элементов для АГП I и АГП IV (см. табл. 3) при сильной и средней эродированности АГП; 10-13 - градации положительной аномальности типоморфных комплексов элементов для АГП II и АГП III (см. табл. 3) при сильной эродированности АГП; 14, 15 - градации положительной аномальности типоморфных комплексов элементов для АГП V и АГП VI при слабой эродированности АГП; 16 - зоны рассеянной минерализации; 17 - переходные зоны; 18-20 - градации повышенной концентрированности бария и фемафилов по сравнению с АГП

В гранитоидах пермо-триасового комплекса зафиксировано широкое проявление окварцевания и турмалинизации. Для юрского гипабиссального гранитного комплекса типична грейзенизация некоторых зон, широко развиты кварц-флюоритовые жилы. Кислые вулканиты в центральном, тектонически наиболее напряженном участке очень сильно изменены. Здесь широко проявлены аргиллизация, пропилитизация и вторичные кварциты. Сильная задренованность исследуемого района послужила причиной того, что наряду с опробованием выходов коренных пород очень часто брались пробы из элювия и делювия.

Математическая обработка материала велась без привлечения информации о возможных типах оруденения. Ограничения программы SQUARE (одновременно можно обработать не более 750 проб) послужили причиной раздельного ведения расчетов на пяти участках территории (отмечены на рис. II). В общей сложности обработка геохимического материала проводилась по результатам приближенно-количественного спектрального анализа 2847 проб на 24 элемента: Ba, Cr, V, Ni, Co, Cu, Ag, Zn, Pb, As, Sb, Bi, Be, Sn, Mo, W, Sc, Y, Yb, La, Ce, Zr, B, U. Результаты, полученные по методике "ГЕОПОЛЕ", приведены на рис. II и в табл. 3.

Соотношение элементов "привноса-выноса" констатируется методом автоматически. Ассоциации положительно аномальных элементов позволили предположить наличие на территории скрытого оруденения двух типов: редкометального и золото-серебряного. Поля повышенных концентраций вынесенных фемафилов и бария (опережающего остальные надрудные элементы - Sb, As) вокруг аномальных геохимических полей (см. рис. II) подтверждают факт гидротермальной переработки пород внутри АГП, фиксируемой по геохимическим данным.

Каждое из выделенных аномальных геохимических полей характеризуется своим типоморфным комплексом элементов, каждый из которых хорошо согласуется с типом гидротермальных изменений¹ (см. табл. 3). Здесь следует подчеркнуть, что такое сопоставление возможно лишь при достаточно широком спектре элементов, изучаемых при геохимических исследованиях.

Степень эродированности аномалий устанавливается по соотношениям типоморфного комплекса с барием и выносимыми элементами (такими как V, Ni, Co, Sc, Cr). Контрастность АГП фиксируется диспе-

¹ Петрографические исследования проведены Т.А.Ивановой, все геолого-структурные исследования и обобщения - Г.М.Мейтуем (ИМГРЭ).

ршей главной компоненты. В табл.3 приведены цифры дисперсий соответствующих главных компонент при полном расчете по схеме методики "ГЕОПОЛЕ" и при пропуске операции фильтрации фонов пород (цифра в скобках).

Сильно эродированными ореолами мы называем такие АГП, которые фиксируются одновременно и контрастной аномальностью типоморфного комплекса элементов. Эти АГП выделяются даже при пропуске операции фильтрации фонов пород. Примером могут служить АГП I, II, III из табл.3. В пределах этих, сильно эродированных, ореолов геохимическая специализация гидротермально переработанных пород констатируется однозначно, независимо от значений фоновых содержаний в первичных породах.

АГП IV характеризуется сонахождением повышенных концентраций элементов обогащения (Sb, Ag, Pb) и элементов, выносимых из центральных зон оруденения. Присутствие бария позволяет высказать гипотезу о надрудном эрозийном срезе средней интенсивности.

Наиболее слабое АГП VI было выделено только после учета фонов различных пород, т.е. при расчетах по полной схеме методики "ГЕОПОЛЕ".

Наиболее контрастные из выделенных аномальных геохимических полей четко приурочены к геологическим структурам или магматическим комплексам. Цепочка аномальных геохимических полей I, V, IV, III отмечает напряженный тектонический пояс с целым рядом палеовулканов, разломов и примыкающий к борту меловой депрессии.

На рис.12 приведена "Геохимическая основа прогнозной карты исследуемого района" составленная по результатам обработки материала по методике "ГЕОПОЛЕ". Геохимическая основа прогнозной карты в масштабе 1:50000 представляет собой основной выходной документ методики. Выделен участок I, наиболее перспективный для исследований более крупного масштаба.

Интересно сопоставить предлагаемую методику с одним из возможных традиционных способов. На рис.13 представлены результаты картирования на территории исследуемого района коэффициента интенсивности оруденения золото-серебряного типа (см.[14]):

$$I_0 = \frac{Ag \cdot As \cdot Sb \cdot Bi}{Ba \cdot Ni \cdot Co \cdot V} \quad (15)$$

Вычисления выполнены с рекомендуемым выше методом нормирования (см.[14]).

Значения нормированного коэффициента интенсивности варьиру-

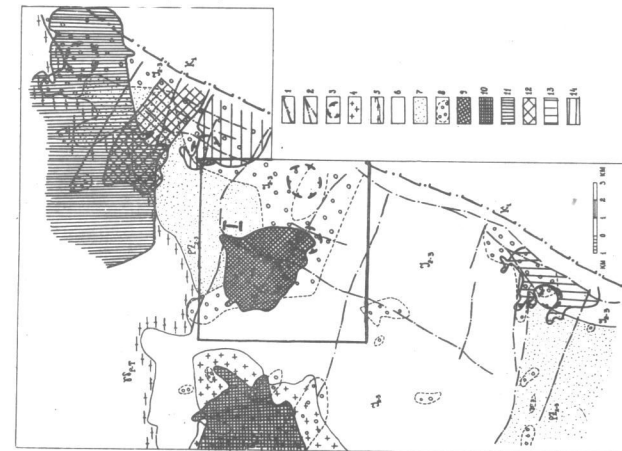


Рис.12. Геохимическая основа прогнозной карты исследуемого района

I-5 - см. рис.11; 6 - вулканы; 7 - песчаные; 8 - зоны проявления гидротермального извлечения пород; 9 - II - контуры сильно эродированных аномальных геохимических полей; 9 - золото-серебряного типа, 10 - окисно-серебряного (золотоосеребряного) типа, 11 - редкметаллового (золотоосеребряного) типа; 12 - контуры средне- и слабо эродированных аномальных геохимических полей; 12 - золото-серебряного типа; 13 - редкметаллового (золотоосеребряного) типа; 14 - редкметаллового типа

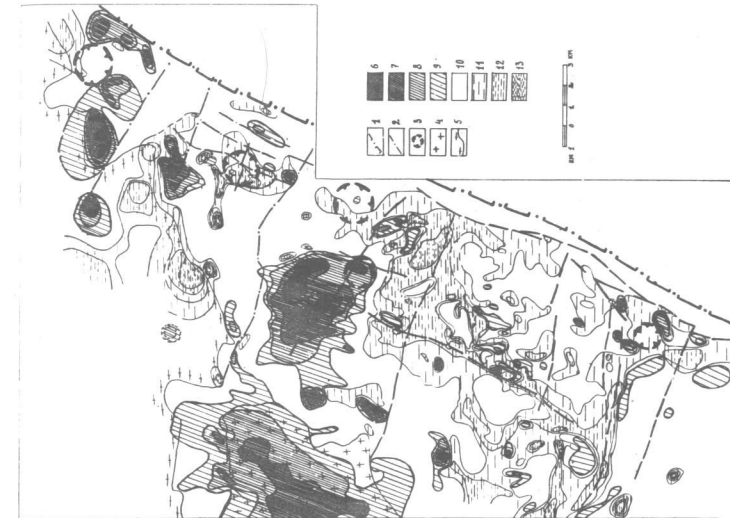


Рис.13. Результаты картирования нормированного коэффициента интенсивности оруденения золото-серебряного типа
1-5 - см. рис.11; 6-13 - границы аномальных геохимических полей; 6 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 7 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 8 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 9 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 10 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 11 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 12 - 10^{-4} до 10^{-3} ; 13 - 10^{-4} до 10^{-3}

от 10^8 до 10^{-7} (пятнадцать десятичных порядков). Контрастность позволяет надеяться на скрытое оруденение (см. соответствующие цифры в работе [12]).

Сравнивая рис. 13 с рис. 11, легко заметить, что заданный априори показатель (15) позволил выделить АП I и II с соответствующим ему типом прогнозируемого оруденения, отметить некоторую аномальность на участках золотосодержащих редкометальных АП III, IV, VI и практически не отмечено АП V у редкометального типа. Вывод из этого сопоставления очевиден.

Итак, в качестве наиболее перспективной аномалии на скрытое оруденение представляется АП I на "Геохимической основе прогнозной карты" (рис. 12) с прогнозируемым золото-серебряным оруденением на глубине. Участок был рекомендован и в дальнейшем исследован в более крупных масштабах.

Прежде чем привести результаты обработки материалов более крупномасштабного опробования по выделенному участку, продемонстрируем на нем методическую целесообразность операции фильтрации изотропного высокочастотного шума.

На рис. 14 воспроизведен результат картирования первого показателя дифференциации вещества на рекомендуемом участке I (см. табл. 3 и рис. 11): $G_I^{(I)} = 0,61As + 0,57Ag + 0,35Sb + 0,20Bi + 0,14U + 0,10V - 0,15Ba - 0,14V - 0,13Co - 0,11Ni$.

Концентрически убывающая интенсивность комплексной аномальности имеет эпицентр в районе Серебряной горки и захватывает на юго-востоке вторую кольцевую структуру. Аномалия характеризуется привнесом As, Ag, Sb, Bi, U, V и выносом V, Co, Ni. Барий, как наиболее подвижный элемент из числа исследованных, вышел за пределы положительной аномалии перечисленных привнесенных элементов и фиксируется в области проявления фемафилов вокруг аномалии. На рис. 15 представлены результаты картирования первой главной компоненты матрицы вариаций исходных данных, не прошедших операции фильтрации. На той же самой территории, по тем же самым исходным данным фиксируются лишь участки синхронной аномальности наиболее контрастных элементов — As, Ag, Ni. Такого рода аномалии отмечают, по-видимому, либо зоны наибольшей эродированности ореола, либо зоны повышенной проницаемости пород. Структура же АП, выявляемая предлагаемой методикой (см. рис. 14), позволяет надежно констатировать интенсивные процессы метасоматоза и формулировать гипотезы о скрытых общих структурных особенностях аномального поля.

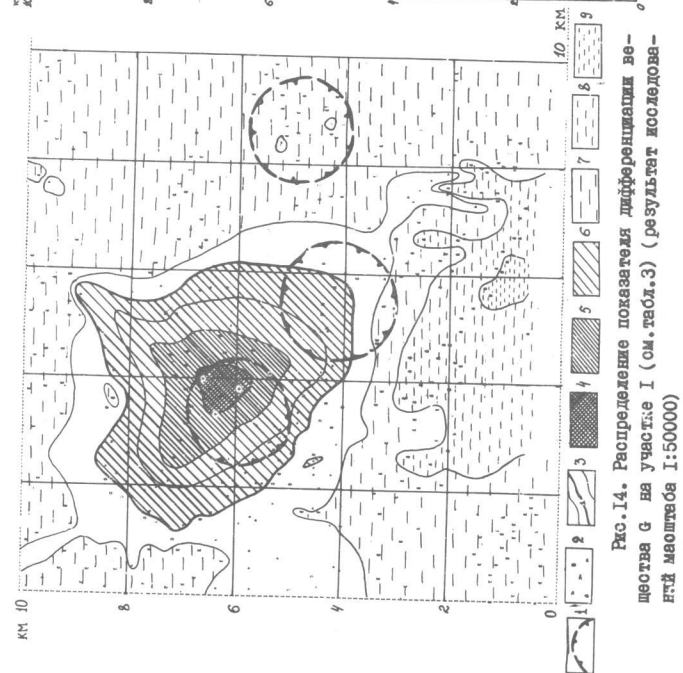


Рис. 14. Распределение показателя дифференциации вещества G на участке I (см. табл. 3) (результат исследования в масштабе 1:50000)

I — предполагаемые жары палеоульканов; 2 — точки опробования; 3 — изотония показателя; 4, 5, 6 — зоны с различными градиентами положительной аномальности показателя; 7, 8, 9 — зоны с различными градиентами отрицательной аномальности показателя

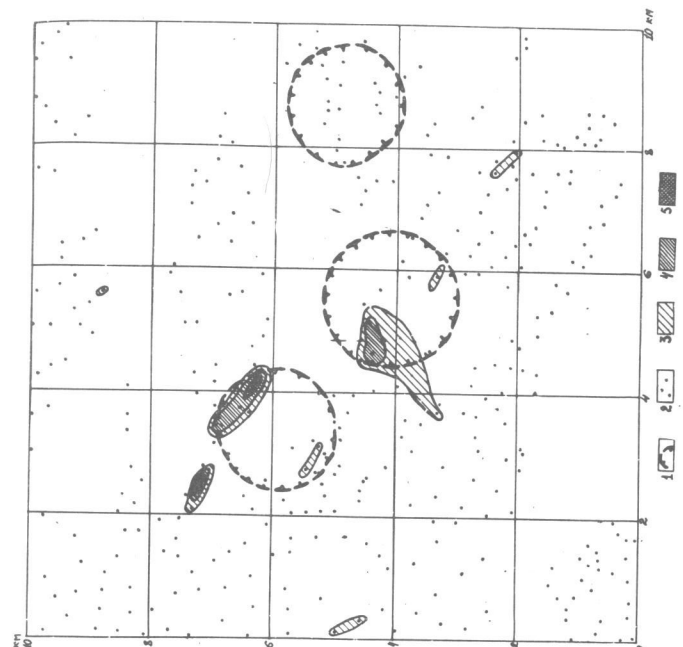


Рис. 15. Распределение значений первой главной компоненты матрицы вариаций исходных данных на участке I (результат исследования в масштабе 1:50000): 1, 2 — см. рис. 14; 3, 4, 5 — зоны с различными градиентами положительной аномальности первой компоненты

Так, общая структура АГП подсказывает северо-западное склонение метасоматически переработанных зон в юго-восточной части ореола.

Исследования перспективного участка I, выделенного на геохимической основе прогнозной карты (см. рис.12), в масштабе 1:25000 проводились по результатам профильного опробования участка.

Порфиры и туфы, представляющие в основном коренные породы на этом участке, подразделялись на "неизмененные", "умеренно измененные", и "сильно измененные". Математической обработке подвергались 388 проб по результатам анализа 36 элементов: Sr, Ba, Ti, Mn, Cr, V, Ni, Co, Cu, Ag, Zn, Pb, As, Sb, Bi, Be, Sn, Mo, W, Ga, Tl, Sc, Y, Yb, La, Ce, Zr, Nb, B, Li, Rb, Cs, Na, K, F, Hg.

В табл.4 приведены вычисленные статистические характеристики указанных разновидностей пород, полученные с помощью программы DENSITY. По таблице легко прослеживается связь между степенью метасоматической переработки пород и концентрациями элементов. При усилении гидротермального изменения пород накапливаются такие элементы как Mn, Cu, Ag, Be, Mo, Ce, B, Li и особенно As, Sb. При этом Ti, Ga, K и особенно сильно Na - выносятся. Кроме сведений, нашедших отражение в табл.4, результаты работы программы DENSITY позволили выяснить, что в сильно измененных породах уменьшается вероятность аномалий Ba, Cr, V, Ni, Co, Sc и увеличивается интенсивность аномалий F и Hg.

Обработка материалов по методике "ГЕОПОЛЕ" привела к выяснению трех важнейших показателей дифференциации вещества на исследуемой территории: $G_1 = 0,89Hg + 0,34Sb + 0,20As + 0,13Ag + 0,12Mo$
 $G_2 = 0,65Ag + 0,42As + 0,29Sb + 0,18Sn + 0,11Mo + 0,10B - 0,37Hg - 0,18V + 0,15Ba - 0,11Ti - 0,10Cr - 0,10Co$
 $G_3 = 0,62Sn + 0,19La + 0,18Y + 0,18Yb + 0,17Ce + 0,17Tl + 0,16Be + 0,16Pb + 0,14Na + 0,11B - 0,34Li - 0,32Sr - 0,14Ag - 0,14Cs.$

Результаты картирования выделенных показателей приведены на рис.16.

Первый показатель выделяет наиболее контрастную аномалию типоморфного комплекса Hg, Sb, As, Ag, Mo. Во втором показателе дифференциации ртуть наряду с барием входит в ассоциацию с фематофилами, что говорит уже не о накоплении ртути в зоне аномалии, а о ее выходе вместе с барием за пределы основных контуров обогащения.

Аномалия в районе Серебряной горки отмечена ассоциацией ти-

Таблица 3

Характеристика аномальных геохимических полей на территории исследуемого района

№	Контрастность	Эрозионность	Типоморфный комплекс элементов	Гидротермальное изменение пород	Структура магматизма	Возможный тип отложения
I.	20.6(8.0)	Сильная	As, Ag, Sb, Bi, U, Be - Ba, V, Co, Ni	Артилинизация Окисление	Палеовулканы	Золото-серебряный
II.	16.9(4.7)	"	Ag, Sn, As, Be, Pb, Mo, U - V, Ba, Co, Sc	Грейзенизация	Граниты	Редкометаллический (олово-серебряный)
III.	14.0(6.6)	"	Bi, B, As, Ag, Sn - Sb	Турмалинизация Окисление	Гранитоиды	Редкометаллический (золото-серебряный)
IV.	15.6(3.0)	Средняя	Sb, Ag, Pb, Co, V, Ba	Серпентинизация ороговывание (песчаников)	Равном	Золото-серебряный
V.	2.5(0.9)	?	W, Mo, La, Zr, Be, Ce - V, Ba, Co, Cr, Sc	Окисление	Палеовулканы	Редкометаллический
VI.	11.8(-)	Слабая	Bi, Be, As, U, Sn, Ag - Ni	Артилинизация Окисление	"	Редкометаллический (золото-серебряный)

Примечание: первичные породы, артилинизированные и окисленные в аномальных полях I, II, VI - лапидарные порфиры (покровы и субвулканические тела).

Таблица 4

Статистические характеристики пород с различной степенью изменения (вверху среднее значение фона; внизу минимально-аномальное значение)

1.	Чувствительность	3.	1.	0.05	0.03	0.3	0.1	0.3	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.03	0.3	1.	1.
2.	Десятичный порядок	-3	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-3	-6	-2	-3	-2	-3	-4	-4
3.	Порода:	As	Ba	Ti	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Ag	Zn	Pb	As	Sb	Bi	Be
4.	Незамеченная	2.8	0.7	12.	0.55	0.9	0.4	0.45	0.7	3.2	1.	1.	5.7	0.05	0.3	1.	1.4
		12.5	4.	24.	1.45	2.4	1.2	1.25	1.5	12.	2.5	2.4	13.	0.1	0.7	4.0	4.5
5.	Умеренно измененная		0.6	8.4	1.5						1.55			0.1			
			4.	24.	4.						4.25			0.2			
6.	Сильно измененная		0.5	7.5						4.	4.			5.	4.1		3.5
			4.	24							12.	12.		12.5	12.5		11.

1.	1.	0.5	0.3	0.1	3.	1.	0.3	1.	3.	1.	0.3	0.5	0.05	1.	0.5	0.02	0.02	0.005	0.01	
2.	-4	-4	-3	-3	-4	-4	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	0	0	0	-6	
3.	Sn	Mo	W	Ga	Tl	Sc	Y	Yb	La	Ce	Zr	Nb	B	Li	Rb	Cs	Na	K	F	Hg
4.	16.5	1.35	0.7	2.3	2.5	0.5	2.5	2.2	1.3	0.55	11.7	3.2	1.2	5.1	30.	12.2	2.2	4.3	0.03	0.001
	43.	3.5	1.25	3.7	6.5	1.5	6.7	6.5	4.4	1.5	23.	9.	3.6	13.	55.	3	3.8	5.7	0.1	0.02
5.										0.76							0.85			
										1.5							3.8			
6.		3.		1.3						1.							0.075	2.1		
		6.5		2.5						1.5							0.07	4.765		

Примечание: для наглядности таблицы не заполнены клетки, когда статистические характеристики пород не изменялись при усилении метасоматической переработки.

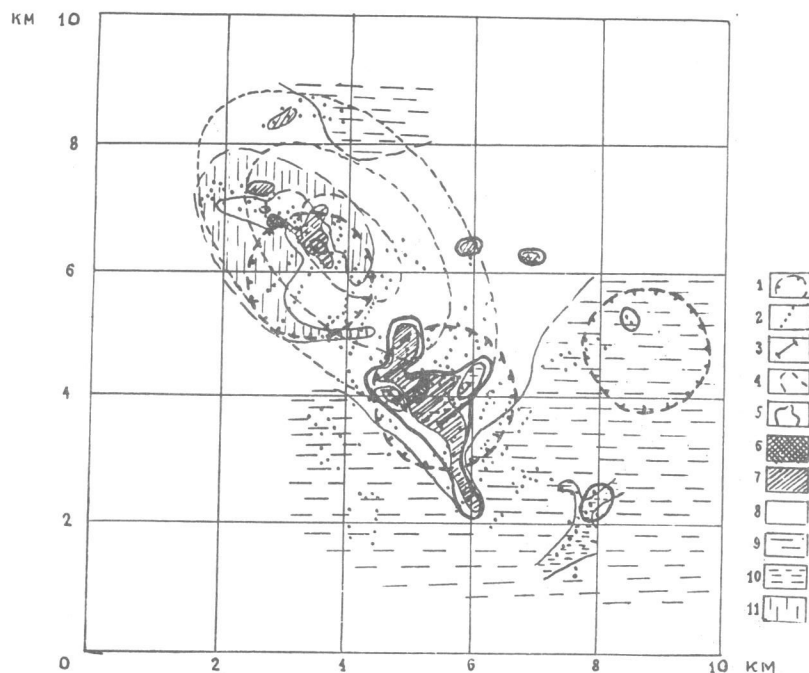


Рис.16. Схема зональности геохимического поля на участке I (масштаб исследований 1:25000): 1,2 - см.рис.14; 3 - каналы; 4 - аппроксимация контуров АГП, выделенного в масштабе 1:50000; 5 - нулевая изолиния первого показателя дифференциации вещества G_1 ; 6,7 - зоны с различными градациями положительной аномальности второго показателя G_2 ; 8 - зона с околофоновыми значениями второго показателя - $I < G_2 < I$; 9,10 - зоны с различными градациями отрицательной аномальности второго показателя G_2 ; 11 - зона с положительными значениями третьего показателя G_3

поморфных элементов без ртути: Ag, As, Sb, Sn, Mo, В. Третий показатель дифференциации вещества, слабый по контрастности, однако и четко отмечает относительное накопление олова, бериллия, редких земель и натрия вокруг аномалии на Серебряной горке с синхронным понижением содержаний Li, Sr, Ag, Cs.

Выявленная геохимическая специализация ореольных зон на поверхности исследуемого района позволяет предположить более сильную эродированность ореола на Серебряной горке. Проведенные позже исследования подтверждают этот вывод. Находки серебряной руды на поверхности в районе Серебряной горки говорят об эродированности этой аномалии.

Таким образом, можно говорить об успешных уточнениях структуры АГП, вносимых применением предлагаемой методики к геохимическим исследованиям масштаба 1:25000, по отношению к результатам исследований в масштабе 1:50000. Следует подчеркнуть, что все выводы об изучаемых объектах получены без помощи каких-либо эталонов известных месторождений искомого типа. Предлагаемая методика математической обработки геохимической информации опирается на известные общие данные о процессах метасоматоза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения АСОД-ГППИ, накопленный к настоящему времени, свидетельствует о ее эффективности при обработке результатов геохимического опробования в поисковых целях. Наиболее продуктивным следует считать применение системы при анализе результатов геохимических поисков средних масштабов (от 1:25000 до 1:200000). Получаемые в результате обработки информации карты типоморфных аномальных ассоциаций представляют собой геохимическую основу для построения прогнозной карты изучаемого участка земной коры.

Эффективность применения АСОД-ГППИ при обработке геохимической информации для целей поисков месторождений полезных ископаемых определяется соответствием ее алгоритмического содержания процедуре анализа данных при геохимических поисках.

- Содержание блока стандартизации информации строго ориентировано на выделение закономерной составляющей эпигенетического геохимического поля. Достижение указанной цели обеспечивается фильтрацией случайных флуктуаций разной природы и исключением влияния на результат различий в геохимических особенностях пород разного типа.

– Участки проявления процессов "привноса-выноса" при ореолообразовании фиксируются с помощью типоморфных геохимических ассоциаций элементов-индикаторов. Процедура основана на эффективном использовании свойств оценок известных статистических параметров в условиях неоднородных совокупностей. Вариант метода главных компонент, основанный на анализе матрицы вариаций, обеспечивает комплектацию ассоциаций элементов с требуемыми свойствами: контрастными ореольными концентрациями и синхронным поведением их при ореолообразовании.

– Рациональная структура системы обеспечивает как минимальные затраты для подготовки и ввода информации, так и наглядное представление результатов обработки в виде "Геохимической основы прогнозной карты".

Примеры применения АСОД-ГППИ, рассмотренные в тексте, способствуют пониманию интерпретации результатов обработки информации, а также определяют возможности системы в типовых ситуациях поисковых геохимических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1981.
2. Белонин М.Д., Голубева В.А., Скублов Г.Т. Факторный анализ в геологии. Л.: Недра, 1982.
3. Верховская Л.А. Об интерпретации выборочных коэффициентов корреляции, вычисленных для неоднородных геохимических совокупностей. – Мат.методы исслед. в геологии: Экспресс-информация, вып.2, М.: ВИЭМС, 1973, с.8–21.
4. Верховская Л.А. Использование коэффициентов вариации для определения присутствия аномальных содержаний в геохимических совокупностях. – Мат.методы исслед. в геологии: Экспресс-информация, вып.2, М.: ВИЭМС, 1973, с.21–33.
5. Верховская Л.А. Методы измерения автокорреляционных свойств геохимического поля при решении поисковых задач. – Мат.методы исслед. в геологии: Обзор, М.: ВИЭМС, 1981.
6. Верховская Л.А., Сорокина Е.П. Математическое моделирование геохимического поля в поисковых целях. М.: Недра, 1981.
7. Верховская Л.А., Баклунова Л.Н. Об использовании мультипликативных показателей при обработке геохимических данных площад-

ного опробования. – Мат.методы исслед. в геологии: Экспресс-информация, вып.7, М.: ВИЭМС, 1983.

8. Верховская Л.А., Ромина А.М., Яшкина И.А. Комплекс программ для обработки на ЭВМ ЕС геологической информации при поисках месторождений полезных ископаемых. – Алгоритмы и программы, № 2(37), М.: ВИЭМС, 1980.
9. Гармаш А.А., Рубо Г.Л. О формах нахождения рудообразующих элементов в эндогенных ореолах Белоусовского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). – Советская геология, 1973, № 4.
10. Гармаш А.А., Рубо Г.Л. Эндогенные ореолы полиметаллических месторождений Рудного Алтая и их связь со структурными условиями локализации и составом промышленного оруденения. В соб.: Критерии интерпретации первичных геохимических ореолов, М.: ИМГРЭ, 1981.
11. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. М.: Недра, 1968.
12. Григорян С.В., Дергачева Г.М., Федотова Г.Э. Методические приемы оценки промышленной значимости оруденения. В соб.: Геохимические поиски редкометалльных месторождений. М.: ИМГРЭ, 1982, с.3–12.
13. Григорян С.В., Мухитдинов Г.Н., Федотова Г.Э. и др. Особенности строения первичных ореолов медно-порфировых месторождений. В соб.: Критерии интерпретации первичных геохимических ореолов. М.: 1981, с.3–9.
14. Григорян С.В., Маньков Б.В., Федотова Г.Э. и др. Определение характера распределения золота в месторождениях по геохимическим данным. В соб.: Геохимические поиски редкометалльных месторождений. М.: ИМГРЭ, 1982, с.19–24.
15. Грицюк Я.М. Основы алгоритмизации процесса выявления и разбровки аномалий при геохимических поисках. В соб.: Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1982.
16. Добровидов А.В. Об одном алгоритме непараметрической оценки случайных многомерных сигналов. – Автоматика и телемеханика, 1971, № 2, с.88–99.
17. Каргер М.Д. Статистическая мера контрастности многокомпонентных геохимических аномалий и ее применение. – Мат.методы исслед. в геологии: Экспресс-информация, вып.2, М.: ВИЭМС, 1979.
18. Колпус А.В., Зубов И.А. Выделение, изучение и практическое использование отрицательных первичных ореолов скрытого флюоритового оруденения. – Геохимия, 1980, № 12.
19. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1969.
20. Мейтун Г.М., Иванова Т.А., Иванов В.В. и др. Прогнозирование рудоносных площадей. М.: Наука, 1976.
21. Пивоваров А.Н., Федотова Г.Э., Таранина Б.Б. и др. Оценка зональности первичных ореолов редкометалльного месторождения. В соб.: Критерии интерпретации первичных геохимических ореолов. М.: ИМГРЭ, 1981.
22. Смирнов Г.А. Основы формальной теории целостности. В соб.: Системные исследования (ежегодник), 1979.
23. Яшков А.А. Некоторые особенности строения отрицательных ореолов на примере Шемякинского месторождения. В соб.: Геохимические поиски редкометалльных месторождений. М.: ИМГРЭ, 1982.
24. Cameron E.M. A Computer Program for Factor Analysis of Geochemical and other Data. – Geol. Survey of Canada, Paper 67-34, Ottawa, 1967, pp. 1–41.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
I. Геохимические основы построения методики математической обработки информации при поисках месторождений..	4
II. Методика математической обработки геохимической информации "ГЕОПОЛЕ".....	8
II.1. Блок-схема комплекса математических алгоритмов методики "ГЕОПОЛЕ".....	9
II.2. Выделение детерминированной составляющей геохимического поля.....	12
II.3. Определение фоновых характеристик пород и выделение аномальной составляющей геохимического поля.....	15
II.4. Определение геохимической специализации аномальных геохимических полей методом главных компонент.....	17
II.5. О сканирующих алгоритмах.....	25
II.6. О нормировании мультипликативных показателей при обработке геохимических данных площадного опробования..	27
III. Реализация методики "ГЕОПОЛЕ" на ЭВМ.....	30
III.1. Организация банка первичных геохимических данных посредством АИПС "ГЕОНАВТ".....	30
III.2. Программное обеспечение методики "ГЕОПОЛЕ".....	36
IV. Примеры обработки геохимических материалов на ЭВМ по методике "ГЕОПОЛЕ".....	38
IV.1. Обработка данных геохимической площадной съемки на территории с известными месторождениями.....	38
IV.2. Обработка данных крупномасштабного геохимического опробования околорудного пространства на известном месторождении.....	41
IV.3. Обработка данных геохимической площадной съемки масштабов 1:50000 и 1:25000 на этапе предварительных поисков.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
ЛИТЕРАТУРА.....	55

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АСОД-ГППИ ПРИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Утверждено к печати Институтом минералогии,
геохимии и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Т.И.Нефелова, Э.Э.Верник

Подписано к печати 20 сентября 1984 г.

Т-14494. Уч.-изд.л. 8. Тираж 500.

Заказ 14-84. Цена 30 коп.

Формат 60x90 1/16.

Ротапринт ИМГРЭ