

А.И. БУРДЭ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ И СПОСОБЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ
ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ
И ПОИСКОВЫХ
РАБОТАХ**

НЕДРА

А. И. БУРДЭ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ И СПОСОБЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ
ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ
И ПОИСКОВЫХ
РАБОТАХ

2613



ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1978



Бурдэ А. И. Теоретические основы и способы определения комплекса методов при региональных геологосъемочных и поисковых работах. Л., «Недра», 1978. 143 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т).

В книге рассмотрены теория и методика выбора рационального комплекса методов геологической съемки и поисков твердых полезных ископаемых. Задача разделяется на: а) выбор оптимальной методики применения отдельного метода с помощью простейших математических приемов и моделей объектов съемки и поисков и б) выбор рационального комплекса и последовательности применения методов и их оптимизация с использованием количественных оценок возможностей и качественных характеристик каждого метода. В специальном разделе описаны способы количественной оценки возможностей отдельных методов и их сочетаний и способы оценки качества, эффективности и надежности результатов геологосъемочных и поисковых работ в целом. В последней главе приведено районирование СССР по геологическим и экономико-географическим условиям проведения геологосъемочных работ и кратко охарактеризованы комплексы методов для различных типов геологических обстановок. Методику предлагается применять при геологосъемочных работах масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000, но она может быть использована и при работах другой детальности.

Книга рассчитана на геологов, геофизиков и геохимиков, проводящих геологическую съемку и поиски месторождений полезных ископаемых; может быть полезна студентам средних и высших специальных учебных заведений.

Табл. 45, ил. 16, список лит. 158 назв.

Научный редактор **Н. Н. Боровко**

Геологические съемки и поиски относятся к процессам, проблема оптимизации которых стоит наиболее остро. Ответственную задачу отыскания наилучшего варианта использования весьма значительных средств приходится решать здесь в условиях чрезвычайно большой неопределенности, весьма скудных сведений относительно объектов исследования и о возможных последствиях той или иной линии поведения. Работы в этой области, в сущности, только начинаются, изучена она довольно слабо и неоднородно, и до строгой системы безупречных решений пока далеко. В то же время надо помнить, что новые области знания всегда трудны для изложения, так как основываются на непривычных представлениях и требуют нового языка. Поэтому, чтобы правильно оценить достоинства данной книги, нужно с пониманием отнестись к тем трудностям, с которыми столкнулся ее автор. Дальнейший прогресс в этой области, конечно, необходим, однако для него потребуется значительное время.

В книге изложен результат чрезвычайно полезного системного анализа процесса геологических съемок и поисков. Этот опыт представляет несомненный интерес для самого широкого круга специалистов. Публикация книги будет способствовать воспитанию нового современного мышления в подходе к проблеме оптимизации комплексов исследований и тем самым послужит повышению эффективности геологосъемочных работ.

Н. Н. Боровко

ПРЕДИСЛОВИЕ

Региональные геологосъемочные и поисковые работы (РГС) в виде различного рода геологических съемок и сопровождающих их поисков полезных ископаемых на всей территории района являются основными поставщиками систематизированной информации о геологических телах, тектонических структурах и полезных ископаемых всей территории СССР и отдельных его регионов. В настоящее время вопросы повышения качества и эффективности общественного производства являются важнейшими вопросами развития народного хозяйства. Одно из важных направлений повышения эффективности всех геологоразведочных работ — повышение эффективности и качества РГС на основе разработки их теории и методики. Такие исследования служат в основном удовлетворению внутренних потребностей геологической науки и практики. Однако они необходимы, поскольку только так можно привести результаты РГС к уровню современных требований.

Современные геологоразведочные работы представляют сложную вероятностную систему, каждая часть которой (и РГС в частности) решает самостоятельные задачи геологического изучения СССР и обеспечения промышленности минеральным сырьем или геологической информацией. В повышении эффективности каждого звена геологоразведочных работ особую роль приобретает научно обоснованный поиск оптимальных в условиях изучаемого района путей решения их задач. Массовое внедрение в последние 10 лет новых способов изучения объектов, новых способов организации РГС и увеличение темпов проведения РГС существенно изменили условия планирования и проведения работ. В недавнем прошлом, когда изучению подвергалась в основном поверхность открытых районов, количество применяемых методов и затраты на проведение работ были невелики, методика работ и комплекс методов без больших затруднений устанавливались благодаря опыту и интуиции геолога, а экономические потери в случае ошибок были ничтожны. Сейчас решение этих же вопросов резко усложнилось, а экономические потери в случае ошибок стали соизмеримы с общей стоимостью работ. В связи с этим определение методики РГС и, в частности,

комплекса методов требует применения более тонких и точных способов.

Проблема определения комплекса методов впервые была поставлена В. И. Красниковым (1959 г.) применительно к задаче поисков рудных месторождений. Ряд вопросов выбора комплекса методов в конкретных геологических обстановках или для отдельных групп методов разбирали В. В. Аристов, Н. А. Беляевский и другие, А. Я. Дубинский и другие, А. Н. Еремеев и другие, Н. Я. Кунин, В. М. Крейтер, Г. П. Новицкий, Н. И. Сафронов, А. П. Соловов и ряд исследователей за рубежом. Но лишь в работах Г. С. Вахромеева, В. Е. Зайцева, В. В. Попова, Л. Л. Рувинского и автора рассмотрены вопросы оптимизации комплекса методов.

Прогрессивным направлением исследования вопросов подобного рода является системный анализ изучаемого процесса, его описание с помощью различного рода моделей и применение полученных результатов к определению его параметров. Настоящая работа представляет собой применение этих подходов к решению вопросов методики РГС, связанных с определением оптимального комплекса методов и способов их применения. Эта задача рассматривается в работе как проектная, однако те же подходы применимы и к уточнению комплекса и методики работ в процессе РГС, а также к другим стадиям геологоразведочного процесса. Гл. I и II излагают теоретические основы решения вопроса, гл. III и IV — способы его решения, гл. V характеризует типовые комплексы методов для различных геологических и экономико-географических условий проведения РГС.

Автор выражает глубокую благодарность А. С. Кумпану и научному редактору книги Н. Н. Боровко за поддержку и помощь в работе, Л. И. Боровикову, В. И. Варшавскому, Л. С. Гельтман, А. В. Григорьеву, В. К. Еремину, Г. А. Жукову, Р. А. Жукову, М. Г. Илаеву, И. И. Кронидову, В. В. Лаврову, Н. И. Сафронову, М. Н. Столпнеру и Ю. Р. Ткачеву — за консультации, предоставленные материалы и помощь. Автор искренне благодарен всему коллективу отдела методики геологической съемки и поисков ВСЕГЕИ, неизменная поддержка которого во многом способствовала окончанию работы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Региональные геологосъемочные и поисковые работы (РГС) объединяют широкий круг научно-исследовательских и геологоразведочных работ, направленных на сбор и обработку геологической информации об изучаемом районе и завершающихся составлением геологической карты с объяснительной запиской и выработкой рекомендаций для дальнейших геологоразведочных работ. РГС представляют собой начальный этап изучения новых районов и наиболее общую форму представления материалов по геологии изученных районов. Их методика и теория основываются на принципах всей геологической науки и геологоразведочной практики. Исследования по методике РГС требуют четкой формулировки исходных положений, места в науке и производстве, понятий объекта и предмета, цели и задач, методов и средств, принципов проведения и организации. Анализ исходных положений относится к методологии РГС и должен удовлетворять требованиям объективности и практической эффективности. При нем обязателен учет характера изучаемого процесса и его организации как системы.

Любая система (и РГС в том числе) представляет собой [9, 10, 39, 43, 122 и др.] совокупность неделимых внутри системы взаимосвязанных вещественных или воображаемых элементов, каким-либо способом выделенных из внешней среды. Система реагирует с внешним миром как единое целое, а при эволюции в разные моменты времени между элементами совокупности можно найти однозначное соответствие. Элементы совокупности являются системами более низкого, а сама совокупность — элементом системы более высокого порядка.

Для РГС во внешней среде следует различать две в известной мере независимые части, которые можно назвать надсистемами: надсистема геологической науки и надсистема геологоразведочного производства.

Для изучения систем применяется два подхода: 1) детальный анализ процесса и изучение его структуры. В случае РГС этот подход заключается в выяснении места каждого элемента (элементарной операции или стадии процесса) в общей структуре и определении его локальной задачи. Основным способом иссле-

дования в этом случае является структурный анализ с построением операционных моделей РГС и описание (в том числе и математическое) процесса по его стадиям; 2) анализ условий, необходимых для получения конечного результата процесса в целом. Этот подход основан на создании общих моделей процесса или частных моделей отдельных уровней его организации при тех или иных ограничениях (условия процесса, его ресурсы и т. п.) и определенной формализации его цели.

При обоих подходах широко используется моделирование изучаемого процесса, когда создается «... мысленно представленная или материально реализованная система, которая, отображая и воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте» [125, с. 19].

В дальнейшем изложении значительное место уделено различного рода определениям, которые должны удовлетворять следующим требованиям: 1) наблюдаемость — возможность выделения изучаемого объекта из окружающей среды; для природных объектов это означает возможность наблюдения объекта или его признаков (хотя бы и с помощью приборов); 2) однозначность (независимость) — используемое для выделения объекта множество признаков должно содержать по крайней мере один род признаков, отличающий его от всех остальных объектов; 3) отсутствие элементов логического круга и понятий, не имеющих определения.

РГС КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СИСТЕМА

Общее определение РГС

Для всего комплекса исследований и работ (горных, буровых и т. п.), входящих в состав современных РГС, общего определения не имеется. В литературе [5, 12, 30, 59, 76, 81, 82 и др.] имеются лишь явные или неявные определения геологической съемки, представляющей только один из видов РГС. В большинстве этих определений нет различия между съемкой как методом научного исследования, стадией геологоразведочного процесса и видом геологоразведочных работ, не содержится полного определения объекта и предмета, цели и задач РГС, их связей с внешней средой, ресурсов и ограничений процесса РГС и недостаточно учитываются особенности современного этапа развития РГС.

Положение РГС в региональном геологическом изучении может быть определено на основе учета системного строения геологических объектов и процесса их изучения.

Системное строение геологических объектов наиболее ярко выражается в наличии нескольких уровней организации веществ

ва: минерал—порода—комплекс пород (формация, геогенерация, геологическое тело и т. п.)—оболочка Земли [26, 27, 43, 72 и др.]. Анализ практики РГС показывает, что основные объекты изучения при них — геологические тела, представляющие собой комплексы пород и принадлежащие к уровню формаций [17 и др.].

Процесс изучения геологических объектов с системной точки зрения состоит из нескольких ступеней исследования постепенно увеличивающегося разнообразия объектов и их связей на одном и том же уровне организации вещества (табл. 1) и выявления все более общих свойств, а в конце — формулировку эмпирических закономерностей. Переход от одной ступени к другой связан с учетом нового рода признаков, что обеспечивает независимость ступеней и соответствующих им отраслей геологической науки.

Все изложенное характеризует РГС как часть геологической науки, занимающейся изучением вещественных (в первую очередь породных), топологических и метрических характеристик объектов уровня геологических формаций.

Основные особенности современного этапа развития РГС в СССР тесно связаны с их положением в геологоразведочном производстве.

1. РГС — прикладные научные исследования, являющиеся частью геологоразведочного производства [17, 48, 59, 94—96 и др.] и посвященные геологическому изучению территории СССР и отдельных ее частей и выявлению условий их освоения (в особенности перспектив обнаружения полезных ископаемых). РГС в СССР заметно отличаются от государственных геологических съемок в ряде капиталистических стран (Великобритания, Франция и др.), где задача выявления условий освоения и поисков полезных ископаемых в большинстве случаев не ставится. Это связано с отличиями в организации геологоразведочных работ. В СССР такие работы сконцентрированы в Министерстве геологии СССР, задачами которого являются и геологическое изучение страны, и обеспечение народного хозяйства минеральным сырьем [71, 111] и геологической информацией, необходимой для оценки условий освоения.

За рубежом эти функции разделены: геологическое изучение со всеми затратами на него проводит государство, а обеспечение страны минеральным сырьем — задача в основном геологоразведочных компаний. Поэтому обычно при проведении геологических съемок задача выявления месторождений полезных ископаемых и других условий освоения перед съемщиками государственных служб не стоит. Такие съемки по содержанию и задачам близки к работам по подготовке к изданию геологических карт в СССР [59, 94 и др.]. Работы же геологоразведочных компаний, как и в СССР, на начальных стадиях часто состоят из геологической съемки крупного масштаба с большим объе-

ТАБЛИЦА 1

Ступени изучения и их геологическая трактовка для уровня формаций

Ступени изучения	Характеристика разнообразия [119]	Геологическая трактовка	Отрасль геологии	Род признаков
I	Элементы изучаемого множества	Геологические тела как совокупность пород, объединенных общностью состава	Простратиграфия	Состав
II	Элементы множества и отношения порядка в нем	Геологические тела и последовательность их образования		Порядок (относительный возраст)
III	Элементы множества, отношения порядка и различные связи в нем	Геологические тела, последовательность их образования, пространственные соотношения и форма геологических тел	РГС (включая стратиграфию)	Пространственные взаимоотношения и форма тел
IV	Отношения и связи множества элементов как единого целого	Конкретная геологическая формация как комплекс геологических тел, объединенных общностью состава, возраста, морфологии тел и условий их образования	Формационный анализ	Генетические связи
V	Структура как инвариант системы — устойчивые элементы, связи и отношения	Абстрактная геологическая формация	Учение о формациях	Устойчивые характеристики состава, возраста, формы и генезиса формаций и геологических тел и их связи (эмпирические закономерности)

мом поисковых работ, близкой по содержанию и задачам к РГС в СССР и даже с еще большим весом поисковых работ при стоимости 300—500 дол. за 1 км² [131, 137 и др.]. В последние 10 лет заметно изменилось положение в государственных геологических службах ряда стран (США, Канада и др.). Они проводят поисково-съёмочные работы в пределах малоизученных и плохо освоенных территорий или при необходимости обеспече-

ния страны стратегическим сырьем [141, 157] в районах, где перспективы обнаружения полезных ископаемых неясны, в связи с чем геологоразведочные компании воздерживаются от затрат. Стоимость подобных работ в США при работах масштаба 1 : 62 500 составила около 320 дол. за 1 км² и 1 : 24 000 — около 600 дол. за 1 км² [157].

2. Результаты РГС (геологическая карта, карты полезных ископаемых, их признаков и прогноза и сопровождающие их текстовые материалы) — основной источник систематизированной геологической информации об отдельных регионах страны и СССР в целом. Для современного этапа характерен переход к детальному геологическому изучению районов РГС не только с поверхности, но и на глубину при достаточной экономической освоенности района.

3. При описании геологических тел и тектонических структур в процессе РГС особо выделяются и описываются практически интересные тела и структуры, особенно связанные с полезными ископаемыми.

4. Результаты РГС включают реконструкцию истории возникновения и развития геологических тел и тектонических структур и, в частности, прогноз мест локализации полезных ископаемых и оценку перспектив района в этом отношении.

5. Результаты РГС широко используются при специальных геологических (геофизических, тектонических и т. п.) исследованиях как фактическая база и источник моделей при интерпретации косвенных наблюдений. В свою очередь результаты специальных исследований широко используются при разработке методики РГС и проведении работ в каком-либо районе.

Цель РГС является одним из начальных моментов общего определения РГС, потому что выбор объектов РГС, как и всякого научного исследования, определяется не столько фактом существования объекта, сколько потребностями его изучения в человеческой практике. Определение объекта в связи с этим «... берет только то из объективной реальности, что на данном этапе развития общества стало предметом теоретической или практической деятельности человека» [70].

Цель всякого исследования ограничивается потребностями науки и производства, частью которых оно является. В связи с этим цель РГС не может учитывать всех потенциальных направлений использования материалов РГС. Анализ других (кроме геологических) направлений использования материалов РГС показывает, что при них в основном нужна неспециализированная геологическая информация, которая дополняется (иногда много лет спустя) узкоспециальными характеристиками. В таких условиях сбор в процессе РГС специализированной информации нерентабелен экономически из-за того, что использование ее в пределах срока морального старения в большинстве проблематично.

Главная цель РГС, как и всей геологической науки и практики,— обеспечение страны минеральным сырьем и геологической информацией, необходимой для планирования экономического освоения территории (строительство в первую очередь). Соответственно *цель РГС — получение геологической информации о возможности обнаружения промышленных месторождений полезных ископаемых в пределах изученного района и сбор геологической информации для планирования экономического освоения района.* Заметим, что оценка перспектив территории в отношении полезных ископаемых нужна всегда и лишь иногда приобретает специальный оттенок (например, в районах застройки проверка отсутствия на застраиваемой территории полезных ископаемых).

Задачи РГС. Можно выделить следующие основные этапы (задачи) достижения цели РГС:

1) геологическое изучение района и составление геологической карты;

2) выявление поисковых признаков и поисковых критериев всех полезных ископаемых, возможных в геологической обстановке района, и составление карты полезных ископаемых и карт распространения их признаков (шлиховые, геохимические и другие карты);

3) сбор и систематизация информации о геологических условиях освоения района и составление необходимых картографических материалов;

4) реконструкция условий и истории формирования геологических тел и тектонических структур;

5) прогноз мест возможной локализации месторождений полезных ископаемых и оценка их перспектив;

6) оценка геологических условий освоения района в целом и отдельных его частей.

При проведении региональных поисковых работ на готовой геологической основе для выявления ограниченного комплекса полезных ископаемых (общие поиски) задачами РГС являются задачи 2, 4 и 5, задача 1 решается только в меру получения новой геологической информации.

Задачи 1—3 относятся к статическим [72] задачам РГС, 4 и 5 — к историко-геологическим. Задача 6 представляет собой задачу, стоящую между геологией и экономической географией, близкую по характеру к историко-геологическим задачам.

Задача 4 относится к более высоким уровням исследования, чем РГС (см. табл. 1), но с ней связано достижение цели РГС. Прогноз поисков полезных ископаемых (задача 5) возможен не на основе накопления бесконечных рядов фактов, а на основе установления связей между фактами и выделения между этими связями наиболее существенных, которые будут характеризовать закономерности геологического развития. Решение этой задачи возможно при РГС лишь в самом первом приближении,

однако отказ от нее невозможен. Очевидно, что полнота решения задач 4 и 5 в каждом отдельном случае должна рассматриваться с точки зрения оптимального расходования ресурсов РГС. Из отмеченного следует, что материалы РГС должны собираться так, чтобы количество их было оптимальным или по крайней мере рациональным для достижения цели РГС (с чем связан вопрос о количестве наблюдений).

Объект РГС. Под объектом науки [64, 70, 72 и др.] понимаются реальные явления и материальные тела, которые существуют независимо от исследователя и являются источником эмпирических данных. Первичными и наиболее общими объектами геологического изучения являются горные породы, их совокупности, распределение различных пород и их совокупностей в районе, формы их залегания и сочетание образуемых ими тел. В связи с этим элементарными объектами РГС должны быть комплексы горных пород (геологические тела), а общим объектом — их сочетание, структура района РГС.

Определение элементарных объектов может проводиться по-разному в соответствии с задачами исследования и различием аспектов объекта, отражаемых в определении (примерами могут быть различные определения формаций). Однако достаточно часто разногласия в определениях связаны с их неудовлетворительностью с логической точки зрения [31, 124].

Для геологических объектов имеются три рода признаков, удовлетворяющих требованию наблюдаемости и независимости: 1) состав в широком смысле, 2) форма, включая внутреннюю структуру, 3) возраст в смысле последовательности образования. Кроме них в геологии широко используется признак «условия образования», однако для дочетвертичных образований он в подавляющем большинстве случаев не удовлетворяет перечисленным требованиям, поскольку представляет собой результат интерпретации первых трех родов признаков (не соблюдаются требования наблюдаемости и независимости). Определение геологического тела как элементарного объекта РГС должно учитывать в основном признаки состава, являющиеся первичными из перечисленных, и должно опираться на наиболее простое из логических отношений — отношение сходства (строго говоря, эквивалентности).

Геологическое тело может быть определено как совокупность (комплекс) горных пород, образованная статистически устойчивым сочетанием горных пород, ограниченная зонами постепенного или поверхностями резкого изменения состава пород или характера их сочетаний и образующая единое природное * тело.

* По определению В. И. Вернадского, «естественное или природное тело — это есть всякое природное, независимо от нас обособленное в пространстве и времени от других природных тел и природных явлений, материальное или материально-энергетическое проявление» [26, с. 161].

Пример устойчивых сочетаний — флишевые ритмы I порядка (и более высоких порядков). В частных случаях такое сочетание может быть образовано одной породой (например, гранитом), быть мономинеральным или представлять собой неправильное чередование определенного набора различных пород. Под зонами и поверхностями изменения состава понимаются составные и несоставные [31] литологические границы, т. е. границы несогласий, интрузивные контакты, или литологические границы с резким или постепенным изменением состава. В соответствии с принципом Головкинского границы геологического тела в общем случае будут анизохронны, хотя и могут совпадать с изохронными поверхностями.

Геологическое тело в приведенном понимании соответствует в стратифицированных образованиях местным стратиграфическим подразделениям (свите, толще, пачке и т. п. в зависимости от детальности РГС), а в вулканогенных образованиях, кроме того, отдельным вулканическим телам (потокам, покровам, жерловым и субвулканическим телам и т. п.). Для интрузивных образований оно соответствует отдельному интрузивному телу простого строения. Геологическое тело представляет собой часть конкретной формации, а формация — совокупность геологических тел.

Близкое к приведенному понимание объекта РГС можно найти в работе Ф. Н. Чернышева, когда им обсуждался вопрос о различных видах стратиграфических шкал [90]. Изложенное определение геологического тела близко к понятию литостратиграфической единицы (или единицы картирования — *map unit*) в практике геологических съемок США, Канады и ряда других стран [132 и др.].

Изложенное определение геологического тела как элементарного объекта РГС может служить основой для построения моделей объектов РГС в конкретных районах.

Предмет РГС, как и любой другой науки [64, 70, 72 и др.], — признаки и характеристики реальных тел и отношений между ними, выявленные при исследовании объекта науки и фиксированные в виде знаковых систем (первичная документация, карты, отчеты, печатные работы и т. п.).

Общее определение. РГС представляют собой геологическое изучение определенного района путем выделения геологических тел (в том числе и полезных ископаемых), изучения их состава, формы и сочетаний (структуры района), систематизации тел и их совокупностей по возрасту и пространственному положению в виде геологической карты, других карт геологического содержания и объяснительного текста к ним с целью оценки перспектив района в отношении полезных ископаемых. В специальных случаях целью РГС является исследование геологических особенностей района, имеющих значение для его экономического освоения.

Метод науки представляет собой общий способ исследования явления или материального тела, способ выявления законов его образования [64]. Средствами науки являются применяемые ею законы (принципы, аксиомы и т. п.), знаковые системы, а также специальные методы исследования и технические средства.

Средства РГС включают принципы*, основанные на них правила изучения объектов РГС и специальные геологические методы. В настоящем разделе кратко охарактеризованы лишь принципы РГС, поскольку рассмотрение и обоснование правил потребовало бы чрезмерно много места.

Принцип вещественности элементарных объектов РГС отражает тот факт, что только горные породы и образуемые ими геологические тела являются источниками геологической информации. Требование вещественности вводилось для изучения конкретных районов еще в 1889 г. С. Н. Никитиным и Ф. Н. Чернышевым [90]. Оно легло в основу данного ранее определения элементарного объекта РГС и всегда реализуется в практике РГС, поскольку наблюдать в поле или по геофизическим, аэрофотосъемочным и другим данным можно только геологические тела различного ранга. На принципе вещественности основано и содержательное определение минимальных размеров геологических тел как размеров, позволяющих отдельно изображать геологические тела на геологической карте.

Геологические тела различаются по составу, что отражает отдельные этапы геологического развития изучаемого района. Границы тел связаны с изменением условий формирования тел и соответствуют началу и концу этапа, к которым приурочены различного рода геологические события. С этим связано особое внимание, уделяемое при РГС изучению границ тел. В стратиграфических кодексах США, Франции, Великобритании и ряда других стран в связи с этим имеется специальное требование картируемости геологических границ [132, с. 646].

Принцип системности строения объектов РГС впервые, по видимому, был выдвинут В. И. Вернадским (хотя и без употребления термина система). Принцип системности является основным методологическим принципом решения статических задач РГИ — составления геологической карты и выявления признаков полезных ископаемых.

Принцип системности реализуется в виде разделения непрерывного реального мира с бесконечной сложностью взаимоотношений его частей на отдельные «куски» действительности, такие, чтобы каждый из них и его взаимоотношения с остальными были достаточно просты для понимания и достаточно сложны

* В соответствии с представлениями В. И. Вернадского и С. И. Вавилова принципы — наиболее общие эмпирические законы науки.

для должной представительности мира. Такие «куски» определяются задачами исследования и в его пределах рассматриваются как неделимые элементы (элементарные объекты). Элементы могут быть статическими (вещественные объекты) и динамическими (процессы). Для статических объектов характерна устойчивость равновесия в отношениях с внешней средой системы, для динамических — устойчивость процесса в виде сохранения его внутреннего содержания.

Понимание мира в целом в пределах данного исследования достигается через изучение структуры системы — совокупности устойчивых (существенных) связей элементов, сочетающей их в целостное единство (систему). Имеются два класса структур: 1) экстенсивный — совокупность устойчивых статических элементов и 2) интенсивный — совокупность динамических элементов как изменяющихся состояний.

В. Г. Горохов [39] выделяет следующие типы системного изучения: 1) микроскопическое — система как множество взаимосвязанных наблюдаемых и измеряемых элементов, важно понятие связи; 2) функциональное — система как совокупность действий для достижения цели, важны понятия организации, элемента, желательных и нежелательных свойств; 3) макроскопическое — система как единое целое, важны понятия внешних среды и связей; 4) иерархическое — система как упорядоченность элементов разного ранга, важны понятия элемента, уровня иерархии; 5) процессуальное — система как последовательность состояний во времени, важны понятия периодов жизни (деятельности), связей перехода между состояниями.

Характернейшим свойством систем является дискретность свойств систем разного ранга и невозможность свести свойства системы к сумме свойств ее элементов. Именно этот признак следует рассматривать как основной при иерархическом изучении, так как с ним связано наличие на каждом уровне иерархии специфических свойств (например, минералы — твердость, атомная или молекулярная структура, породы — прочность, текстура, геологическое тело — компетентность и т. п.). Из этого следует, что изучение характеристик элементов (например, состава горных пород) должно строиться определенным образом для получения надежных сведений о системе в целом (например, о составе геологического тела).

Принцип системности приложим и к самому процессу РГС (см. далее). Специфической особенностью его является то, что свойства различных уровней его организации могут оказаться взаимно противоречивы.

Принцип историзма отражает концепцию развития материального мира во времени. Изучение геологического развития при РГС реализуется, как и в геологии вообще, в виде сочетания синхронного и диахронного подходов. Синхронный подход — изучение геологических объектов и процессов в какой-то момент

времени — представляет собой реконструкцию условий прошлого на этот момент (например, палеогеографические, палеотектонические и другие карты). Диахронный подход — изучение смены синхронных состояний геологических объектов и процессов и установление (в идеале однозначное) взаимосвязей объектов в последовательных синхронных состояниях. Синхронный подход основан на возможности установить одновременность возникновения геологических тел и фиксируемых ими событий, диахронный — на возможности установить порядок следования событий во времени, их продолжительность, число и частоту появлений. Анализ возможностей установления одновременности (принципов стратиграфии [77, 90, 105, 113, 115 и др.]) показывает, что строгая синхронизация событий существующими методами (за исключением инверсий магнитного поля и кратковременных катастрофических событий) невозможна. Практическая минимальная погрешность наиболее широко распространенного биостратиграфического метода в непрерывных разрезах с обильной фауной оценивается значением, характеризующим по крайней мере зону (С. W. Drooger, 1974 г.; Н. Tintant, 1972 г. и др.); в разрезах же, содержащих перерывы, при сопоставлении удаленных фаун или применении статистических методов сопоставления комплексов органических остатков погрешность может быть (и бывает) гораздо большей.

Установление последовательности геологических тел представляет собою разделение геологических тел на разновозрастные классы и расположение этих классов в порядке от древних к молодым (операция установления квазисериального порядка). Анализ правил и методов установления стратиграфии [77, 90, 105, 113, 115, 144, 145 и др.] показывает, что они представляют геологическое время как упорядоченную (в пределах отмеченной ранее точности) последовательность событий (т. е. реализуют концепцию времени по Г. Лейбницу), но не позволяют измерять время, за исключением радиологического способа измерения времени. Измерение времени (т. е. реализация концепции И. Ньютона) с помощью радиологических способов оказывается возможным лишь приблизительно. Все изложенное создает значительные трудности в строгой реализации принципа историзма и вынуждает пользоваться при историко-геологических исследованиях лишь приближенно синхроничными «срезами прошлого», отражающими лишь усредненное положение и состояние геологических объектов и процессов за более или менее продолжительный промежуток времени.

Принцип актуализма — основа реконструкции истории геологического развития изучаемого района. Его применение реализуется в методе актуализма — сравнительном исследовании результатов современных геологических процессов (или результатов их моделирования) и следов геологических процессов и явлений прошлого, зафиксированных в горных породах, геологиче-

ских телах и тектонических структурах и восстановлении на этой основе физико-географических и геологических обстановок прошлого [117 и др.]. Таким образом, метод актуализма представляет собой своеобразную разновидность метода аналогий. При его применении должны учитываться: а) лишь приблизительное сходство геологических процессов и явлений прошлого и настоящего, б) возможное изменение характера геологических процессов из-за пространственных различий в прошлом и настоящем, в) невозможность соблюдения подобия масс, сил и свойств объектов в эксперименте и натуре, г) вероятностный характер причинно-следственных связей в геологических процессах.

Метод актуализма применяется двумя основными способами (В. В. Груза, С. И. Романовский, 1974). Обычно он имеет вид реконструкции прошлого с учетом отличий геологических процессов прошлого и современности — различного рода фациальные, палеогеографические исследования и т. п. Трудности реконструкции связаны с учетом этих отличий, а недостатком этого способа (когда он применяется в чистом виде) является отсутствие проверяемых следствий. Второй способ — предсказание реализаций геологических процессов прошлого на основе метода актуализма, проверка результатов предсказания, внесение необходимых поправок в исходные материалы и повторение всей последовательности рассуждений.

Принцип вероятностного характера причинно-следственных связей определяет ограничения в применении принципа актуализма, прогноза хода геологических процессов и их реализаций (геологических тел, тектонических структур, месторождений полезных ископаемых и т. п.). Вероятностный характер причинно-следственных связей тесно связан: 1) с системным характером геологических объектов, из-за чего появление новых объектов может решающим образом повлиять на дальнейший ход геологического процесса в связи с появлением у системы в целом новых свойств, непосредственно не связанных с начальными условиями процесса; 2) с наличием независимых геологических процессов, пересечение которых приводит к появлению случайных непредсказуемых событий; 3) с изначальной возможностью развития любого геологического процесса по нескольким различным путям, имеющим различную вероятность осуществления (так называемая конвергенционная неопределенность [98]).

Наиболее существенными следствиями изложенного являются: 1) необходимость рассматривать при историко-геологических исследованиях все, даже весьма маловероятные возможности реализации геологических процессов; 2) невозможность математического описания геологического процесса однозначными функциями и необходимость использования для этого пакетов алгоритмов, характеризующих различные варианты процесса; 3) обязательность использования при описании геологических объектов наборов множеств значений их признаков (т. е. диагностических

β -классификаций и β -систематизаций), а не наборов значений признаков; 4) статистический характер геологических прогнозов полезных ископаемых, в связи с чем между оценками их количества и определенностью указания мест их локализации существует связь, которая при неизменном объеме информации ограничивает возможность одновременного точного прогнозирования обоих параметров.

Методы РГС. Методы науки делятся на: а) специальные, применяемые в одной отрасли данной науки; б) применяемые во всей данной науке; в) общие для ряда наук; г) общенаучные. Методы групп «а» и «б» подробно описаны в геологической литературе [7, 11, 15, 17, 32—36, 38, 40, 45, 46, 50, 57, 61, 63, 68, 69, 73—75, 78, 80, 85, 91, 92, 99, 102, 106, 108, 114, 118, 130, 131, 138, 151, 156 и др.], методы группы «г» — в работах по теории познания. Поэтому далее кратко дается характеристика только методов группы «в».

Наблюдение — основной способ получения первичных сведений о геологических объектах. Наблюдение представляет собой систему фиксации и регистрации объективных свойств, связей и взаимоотношений геологических объектов в естественном состоянии непосредственно или с помощью приборов. Фиксация и регистрация данных при наблюдении основана на использовании заранее сформулированных теоретических или эмпирических систем — в первую очередь разного рода классификаций (горных пород, складок и т. п.). Наблюдения могут быть простыми и сложными, прямыми и косвенными, качественными и количественными. Общенаучная тенденция развития наблюдения — переход к простым прямым количественным наблюдениям — в РГС соответствует разделению геологического наблюдения на ряд частных операций и применению стандартизированных форм регистрации данных [21, 148, 159 и др.].

Метод моделирования имеет огромное значение для РГС. Составляемые при них карты представляют собой модели изученного района. При РГС обычно используются текстовая, табличная и перфокартная модели — описания, дву- и трехмерные картографические модели (карты, разрезы, объемные блок-диаграммы и т. п.), реже математические модели. Краткая обобщенная характеристика свойств моделей приведена в табл. 2.

Моделирование широко применяется и при разработке методики РГС. Для всех специальных методов справедливо мнение геофизиков: «Извлечь из наблюдаемых значений поля какую-либо информацию без использования модельных представлений, пусть на неопределенно-интуитивном уровне, нельзя» [116, с. 113]. *Модель объекта РГС* может быть определена как совокупность существенных черт возможного объекта РГС, необходимых для решения определенной задачи и представленных в виде, удобном для определения методики полевых работ, обработки и интерпретации материалов и, в частности, включающем

ТАБЛИЦА 2

Сравнительная характеристика различных видов моделей

Свойства моделей	Виды моделей									
	Текстовое описание	Таблица	Перфокарта	Карта	Аэрофото снимок	Космоснимок	Блок-диаграмма	Разрез	Математическая	Физическая
Абстрактность	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Избирательность	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Синтетичность	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Масштаб и метричность	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+
Наглядность	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
Обзорность	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
Геометрическое подобие	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+
Геологическое соответствие	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+
Логичность легенды	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Структурность	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+
Предсказательность	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+

Примечание. +свойство характерно, -свойство не характерно.

оценку погрешностей специальных методов при выявлении и изучении объектов РГС (включая интерпретацию данных этих методов).

При построении модели обязателен учет различий проведенных ранее и намечаемых работ и требований к геологоразведочному производству в будущем. Все это приводит к появлению проблемы выбора исходных (эталонных) объектов для построения модели и оптимального перечня признаков, описывающих модель. Этот вопрос в наибольшей степени изучен для объектов поисков — месторождений полезных ископаемых: за эталонные объекты принимаются изученные месторождения ожидаемого типа, а перечень существенных признаков определяется на основе статистической обработки перечней их признаков [13, 14, 23, 28, 31, 41, 42, 44, 47, 58, 65, 87, 100, 121, 128 и др.]. При использовании подобных моделей необходимо учитывать: 1) искомые объекты будут обладать лишь какой-то частью признаков модели, подобно тому как каждый из эталонных объектов (например, месторождений) характеризуется лишь частью общего перечня; 2) искомый объект может существенно отличаться от модели по многим (а может быть, и по всем?) признакам как из-за того, что могут измениться возможности применяемых методов и условия их применения, так и из-за того, что он может принадлежать к новому типу, отсутствующему среди эталонных. В соответствии с этим модель, применяемая в методических целях, должна соответствовать задачам и детальности РГС и возможностям намечаемых для применения методов. Она должна

также учитывать отличия этих методов от применявшихся при изучении эталонных объектов ранее и отличия ожидаемых условий проведения работ от условий обнаружения и изучения эталонных объектов.

Картографический метод основан на использовании геологической карты — пространственной образно-знаковой модели района, которая служит хранилищем и источником геологической информации. Использование карт как инструмента исследования при РГС основано на ряде свойств карт вообще [8]: абстрактность, избирательность и синтетичность, образность и наглядность, метричность, непрерывность, географическая точность и соответствие, логичность легенд. Использование геологических карт основано, кроме того, на наличии у них еще двух важных свойств: структурности и предсказательности (возможности на основе карты предсказывать поведение геологических объектов в неизученных частях района или на глубине). Картографический метод при РГС, как и в других случаях [107]; применяется в три этапа: 1) создание первичных карт — составление полевых литологических и литостратиграфических карт (карт геологических тел), регистрационных карт результатов опробования и т. п.; 2) составление производных карт — геологической карты, карты полезных ископаемых и т. п.; 3) применение карт для исследования геологических объектов — составление палеогеографических, фациальных, металлогенических и других карт.

Экспериментальные исследования при РГС практически не применяются. Отдельные их применения связаны с решением специальных задач (например, откачки при гидрогеологических исследованиях и т. п.).

РГС КАК УПРАВЛЕНЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Сложная управленческая система представляет собой совокупность большого числа взаимосвязанных элементов с участием человека как управляющего органа и элемента системы. В этом аспекте РГС могут быть определены как система, состоящая из групп специалистов (маршрутные отряды, партии и т. д.) и технических устройств. Внешняя среда этой системы включает: а) геологоразведочное производство, б) экономико-географические и экономико-геологические условия проведения РГС (см. гл. V), в) объекты РГС. Ресурсы РГС, как и всего геологоразведочного производства, определяются рентабельностью затрат на проведение работ. Управление РГС осуществляется через определение ресурсов средств, труда и времени и оценку качества и эффективности результатов. Входами РГС являются: а) модели ожидаемых объектов РГС, б) инструктивные требования к содержанию и детальности работ, в) геологические задания на

проведение РГС, г) нормативы труда, времени и затрат средств и материалов. Выходы РГС — систематизированная геологическая информация об изучаемом районе и рекомендации по проведению дальнейших геологоразведочных работ.

Принципы организации РГС

Принципы организации РГС — специфическое преломление общих принципов организации всех геологоразведочных работ [74].

Принцип полноты исследования предполагает соблюдение следующих требований: 1) изучение всей площади района; 2) изучение всех основных аспектов геологической характеристики района (стратиграфии, тектоники, магматизма и т. п.); 3) всестороннее изучение геологических тел и тектонических структур района; 4) изучение природных условий района, связанных с его геологией. Перечень таких условий определяется потребностями изучения района и детальностью работ. Перечисленные требования соблюдаются в зависимости от детальности РГС и степени изученности и освоенности района: при работах среднего масштаба основное внимание уделяется требованиям 1, 2 и 4, при работах же крупного масштаба и глубинном геологическом картировании исполнение требования 4 зависит от задач экономического освоения района.

Принцип последовательных приближений проявляется в нескольких аспектах: 1) РГС проводится в несколько стадий, каждая из которых характеризуется различной детальностью и различными задачами изучения (табл. 3); 2) в процессе РГС существует несколько уровней организации, образующих иерархически построенную систему; каждый из этих уровней имеет специфические локальные задачи, указанные в следующем разделе; 3) необходимость наилучшей в условиях района последовательности применения отдельных методов и рациональной последовательности операций при проведении работ каждым методом, а также оптимальной последовательности изучения всего района и отдельных его частей.

Принцип равной достоверности включает требования: 1) равная или не менее заданной проектом надежность изучения всех геологических объектов; 2) соблюдение заранее заданных точности определения положения геологических тел и границ на местности и нанесения их на карту, надежности и точности определения геохимических характеристик и т. п.

Принцип специализации [17] означает необходимость возможно более детального (в пределах данного масштаба РГС) изучения практически важных объектов (в первую очередь полезных ископаемых и геологических объектов, контроли-

ТАБЛИЦА 3

Система видов региональных геологосъемочных работ

Стадии геолого-разведочного процесса	Степень экономической освоенности	
	Освоенные*	Неосвоенные
Геологические съемки масштаба 1 : 200 000	Доизучение ранее заснятых площадей (ГДП) в масштабах 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000	Аэрофотогеологическое картирование (АФГК) среднего масштаба
	Глубинное геологическое картирование (ГГК) мелкого масштаба	Групповые или обычные геологические съемки (ГС) масштаба 1 : 200 000 ГДП масштаба 1 : 1 000 000
Геологические съемки масштаба 1 : 50 000	ГС масштаба 1 : 50 000 ГДП масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000	АФГК крупного масштаба ГС масштаба 1 : 50 000 ГДП масштаба 1 : 200 000
	ГДП масштаба 1 : 50 000 и 1 : 200 000 ГГК среднего и крупного масштабов	Не проводится

* Освоенными названы районы, в которых в различных сочетаниях имеются горнодобывающие предприятия, транспортные магистрали и энергетическая база при населении 1 чел./км². Освоенные районы соответствуют районам благоприятным и средней благоприятности по условиям освоения минеральных ресурсов (см. гл. V).

рующих их размещение и образование или влияющих на условия экономического освоения района РГС).

Принципы наименьших затрат средств, труда и в времени отражают ограничения ресурсов РГС.

Общая характеристика организации процесса РГС

РГС может рассматриваться в двух аспектах. Один аспект процесса РГС состоит в операциях выявления и оконтуривания геологических объектов, причем эти объекты должны соответствовать некоторым заранее определенным требованиям (например, стратиграфическое подразделение — определенной предельной мощности). В этом аспекте можно отвлечься от процесса обработки информации. Во втором аспекте он состоит из сбора и обработки информации о заранее неизвестных объектах. Каждой операции процесса можно поставить в соответствие логическую функцию, как это и делается при построении систем автоматизированной обработки геологической информации [13, 21, 28, 44, 47, 133, 134, 154, 159 и др.].

Характер действия управленческой системы определяется логикой действий человека внутри ее. В результатах РГС можно выделить: а) детерминированную часть — сведения и построения, позволяющие практически безошибочно предсказывать поведение геологических объектов; таковы, например, сведения об элементах залегания пластов в районах простого геологического строения; б) вероятностную часть — сведения и построения, позволяющие предсказывать поведение геологических объектов лишь с некоторой вероятностью; таково, например, появление серии аномальных проб — каждая следующая проба может быть, а может и не быть аномальной; в) непредсказуемую часть — сведения, появление которых не может быть предсказано. В связи с этим деятельность геолога при сборе первичных материалов и построении полевой карты является прогностической, т. е. такой, при которой любое действие или построение может иметь несколько исходов, осуществляющихся с различной вероятностью. Именно это обстоятельство составляет одну из основных трудностей при формализации процесса РГС.

Процесс сбора и обработки информации о геологических телах при РГС состоит из этапа наблюдений и этапа обработки (табл. 4), которые разделяются на стадии. Этап наблюдений представляет собой изучение конкретных явлений (обнажений, показаний приборов и т. п.) и первичную обработку его результатов без привлечения данных по другим районам; этап обработки преследует цель выведения эмпирических закономерностей различной степени общности. Соотношение различных этапов и стадий обработки и степень их разделения для разных методов различны: наиболее четко они разделены для геофизических методов и почти не разделены для дешифрирования аэрофотоматериалов. При геологических наблюдениях они заметно перекрываются во времени; наиболее четко это видно при съемке в последовательности, описанной в учебниках.

Процесс выявления геологических объектов при РГС состоит из ряда уровней организации, различающихся по содержанию и задачам. Строение процесса с этой точки зрения и локальные задачи каждого уровня показаны в табл. 4.

Процесс РГС как научно-производственной деятельности разделяется на стадии: а) подготовка площади к РГС в виде проведения опережающих геофизических работ, аэрофотосъемки, подготовки легенд и т. п.; б) проектирование и подготовка к полевым работам; в) полевые работы совместно с полевой камеральной обработкой; г) камеральные работы, включая подготовку материалов к изданию; д) издание материалов, включая контроль перед сдачей в издательство. По этим стадиям следует рассматривать и применение отдельных методов (см. гл. V).

ТАБЛИЦА 4

Общая схема организации процесса РГС

Уровни организации	Выявление и оконтуривание объектов			Ресурсы и ограничения	Сбор и обработка информации			
	Геологическое изучение	Региональные поиски	Задачи управления		Этапы процесса	Объекты изучения	Стадии процесса	Содержание работ
I (начальный)	Выявление и описание сочетаний горных пород, изучение их состава и взаимоотношений, предварительное выявление геологических тел, выявление и изучение условий их залегания, привязка наблюдений к местности	Выявление всех поисковых признаков, установление их положения на местности и приуроченности к горным породам, геологическим телам и тектоническим структурам	Обеспечение возможно более надежных сведений о горных породах, геологических телах и поисковых признаках с возможно более точной привязкой к местности	Затраты труда и времени	Наблюдений	Конкретные геологические тела, тектонические структуры и поисковые признаки	Наблюдений Первичной обработки	Описание обнажений, горных выработок, скважин, дешифрирование фотоматериалов, проведение геофизических наблюдений, отбор проб и т. п. Составление частных разрезов, геологических схем по маршруту, составление геоиндикационных карт, карт измененных значений геофизических полей, элементных геохимических карт по точкам и т. п.
II	Составление геологической карты: выделение и нанесение на карту всех геологических тел, имеющих заданные характеристики, изучение их состава, взаимоотношений, возраста образуемых ими структур. Реконструкция истории развития геологических объектов и выявление закономерностей их формирования	Выявление всех участков распространения признаков полезных ископаемых с заданными характеристиками, составление карты полезных ископаемых. Выявление закономерностей формирования и прогноз полезных ископаемых	Обеспечение сведений о геологических телах, тектонических структурах района и перспективных в отношении полезных ископаемых участках с соблюдением заданных требований в отношении полноты, достоверности и точности	Затраты материалов, труда, средств и времени	Обобщения	Обобщенные образы геологических тел и тектонических структур, поисковые критерии, перспективные участки, проявления и месторождения полезных ископаемых	Первичного обобщения Окончательного обобщения	Увязка частных разрезов, составление полевой геологической карты, предварительная интерпретация геофизических и геохимических материалов, изучение перспективных участков, месторождений и проявлений и предварительная их оценка и т. п. Составление окончательных геологической карты и карты полезных ископаемых, а также необходимых историко-геологических карт, изучение закономерностей размещения полезных ископаемых и составление карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых и пр.
III (высший)	Обеспечение уровня геологических знаний о регионе, обеспечивающего нужды народного хозяйства и геологической науки	Выявление промышленных месторождений полезных ископаемых и обеспечение промышленности минеральным сырьем	Проведение РГИ с заданным уровнем эффективности	Затраты средств	—	—	—	—

Моделирование процесса РГС

Моделирование РГС позволяет разобраться в свойствах и действии системы РГС, получить количественные характеристики ее деятельности (в особенности оценки ее качества и эффективности) и выбрать наиболее экономически выгодные варианты решения задач РГС.

Процесс моделирования включает: 1) общую постановку задачи в обычном смысле; 2) определение общего характера процесса; 3) выяснение возможных характеристик, описывающих процесс; 4) построение операционной модели процесса в виде содержательного описания отдельных элементов процесса и их сочетаний с характеристикой получаемых результатов; 5) формализацию задачи и составление математической модели—системы зависимостей, в символической форме описывающих процесс функционирования изучаемой системы. При моделировании могут получаться различные характеристики процесса, описывающие его с разных точек зрения, и явные соотношения этих характеристик не всегда удается найти. Тогда общая модель будет представлять собой набор частных моделей. Ранее отмечалась возможность рассмотрения РГС с разных точек зрения, в связи с чем предлагается следующая система частных моделей РГС.

1. Операционные модели процесса сбора и обработки информации: а) этапа наблюдений, б) этапа обработки информации.

2. Математические модели процесса сбора и обработки информации.

3. Математические модели процесса обнаружения объектов РГС: а) первого уровня организации, б) второго уровня организации, в) третьего уровня.

Очевидно, что хотя бы часть моделей должна включать экономические показатели, характеризующие эффективность использования ресурсов.

Понятия качества результатов и эффективности РГС

Вопрос о качестве и эффективности в соответствии с решениями XXV съезда КПСС становится одним из важнейших вопросов методики геологоразведочных работ вообще и РГС в частности. Оценка качества и эффективности необходима и для разработки методики РГС, и выбора комплекса методов. В настоящее время этот вопрос для РГС рассмотрен в небольшом количестве работ [19, 20, 48, 49, 120, 126] и во многом дискусионен.

Качество результатов РГС. По ГОСТ 15467—70 качество продукции — «совокупность свойств продукции, обусловленная ее пригодностью удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением», где «свойство продукции — объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании, эксплуатации или потреблении».

Продукция РГС — геологическая информация о районе и его полезных ископаемых в виде карт геологического содержания и геологических отчетов (или записок). Эта продукция используется в народном хозяйстве в первую очередь для оценки перспектив полезных ископаемых и выявления их месторождений и оценки условий освоения района. Для достижения этой цели материалы РГС должны содержать необходимые сведения определенной надежности, соответствующие требованиям инструкций, проектных заданий и проектов на проведение работ в конкретных районах. Таким образом, устанавливаются два рода свойств материалов РГС: содержание и надежность, которые и должны оцениваться при определении качества результатов РГС (табл. 5).

Эффективность РГС, как и в других случаях, представляет собой соотношение затрат на проведение работ и стоимости полученных результатов (как некая аналогия к.п.д.). Особенностью эффективности является ее двойственный характер: результаты РГС имеют и стоимость, и нечто вроде потребительной стоимости (удовлетворение нужд геологоразведочного производства в виде выявленных месторождений, проявлений и т. п.). В связи с этим необходимо различать стоимостные и натуральные показатели эффективности, причем определение ее по этим показателям может не совпадать. Это, однако, не означает ложности одного из показателей, а лишь требует в каждом случае расхождения детального экономического анализа и учета качества получаемых результатов.

Эффективность РГС определяется использованием полученной геологической информации для оценки перспектив района в отношении полезных ископаемых в виде выявления месторождений и перспективных участков и повышения общего научного потенциала страны. При освоении территорий (строительство, прокладка дорог, водоснабжение и т. п.) эффективность РГС определяется снижением затрат на освоение по сравнению с затратами без информации РГС. Однако и в данном случае оценка перспектив района в отношении полезных ископаемых остается составной частью оценки условий освоения. Это позволяет в первом приближении ограничиться определением эффективности РГС по отношению к выявлению полезных ископаемых.

Эффективность РГС в изложенном смысле зависит от степени перспективности района, чем РГС принципиально отличаются от последующих геологоразведочных работ. Высокое качество — необходимое, но недостаточное условие высокой эффективности, оно лишь гарантирует эффективность РГС при наличии необходимых природных условий (наличие в районе промышленных месторождений, обстановок, благоприятных для намечаемого освоения и т. д.). В соответствии с этим в ряде случаев РГС, проводимые в хорошо изученных районах, оказываются малоэффективными с точки зрения выявления новых месторождений. Эф-

Показатели качества и эффективности результатов РГС на разных уровнях организации

Уровни	Показатели качества		Показатели эффективности	
	содержания	надежности	натуральной	экономической
III	Средний срок обновления материалов РГС за определенный промежуток времени		Отношение количества выявленных промышленных месторождений к количеству всех выявленных перспективных участков за определенный промежуток времени	Стоимостная отдача затрат — отношение стоимости выявленных месторождений к затратам на РГС с учетом поискового риска
II	Соответствие материалов требованиям инструкций и проекта на проведение РГС	Средние вероятность и достоверность выявления и точность нанесения объектов на карту	Соотношение количества рекомендаций, принятых к дальнейшим геологоразведочным работам, и количества всех рекомендаций	Соотношение плановой и фактической себестоимости работ. Стоимостная отдача затрат с учетом стоимости работ на рекомендуемых участках и поискового риска
I	Соответствие детальности наблюдений задачам полевых работ	Величина ошибок наблюдения и точность привязки наблюдений к местности	Не оценивается	

фektivность таких РГС сказывается лишь через повышение общего научного потенциала геологоразведочной службы и пока удовлетворительной оценке не поддается.

Задача определения комплекса методов и пути ее решения

Определение комплекса методов (КМ) представляет собой задачу выбора такого их сочетания, которое позволяет получить информацию, достаточную для достижения цели РГС, при минимальных затратах труда, времени и средств или возможно большее количество информации при заданных пределах затрат труда, средств и времени. На современном этапе развития РГС задача выбора КМ имеет ряд вариантов в связи с необходимостью ее решения при неполной определенности сведений об ожидаемых объектах и условиях проведения РГС. Это создает возможность получить при проектировании ряд приблизительно равноценных КМ, между которыми и должен быть осуществлен выбор. Таким образом, разработка методики как одна из задач исследования операций состоит в нахождении возможных КМ, определении приемов оценки ожидаемых результатов их применения и способов оптимизации выбора.

РГС как управленческая система включает в качестве элементов людей и различные технические устройства. Критерии выбора КМ и способы оценки ожидаемых результатов должны учитывать, что в действиях людей и работе технических устройств, как правило, бывают отклонения и ошибки, ухудшающие проектное качество результатов в связи с отличием условий проведения работ от стандартных, износом приборов, недостаточной квалификацией или небрежностью исполнителей и т. п. Аналогично этому при выборе КМ необходимо учитывать, что при обработке материалов извлекается и наилучшим образом используется не вся информация, содержащаяся в материалах первичных наблюдений.

Среди всех КМ следует различать: а) рациональные — включают методы, применимые для решения задачи РГС в данном районе без оценки оптимальности, в связи с чем рациональный КМ может и не быть оптимальным. Таковы типовые КМ, описанные в работах по методике геологоразведочных работ [17, 24, 32—36, 38, 46, 50, 55, 57, 59, 60, 63, 66, 68, 69, 73—75, 80—85, 91, 94—96, 106, 108, 114, 118 и др.]; б) оптимальные КМ — те рациональные КМ, при которых достигаются наилучшие в некотором определенном смысле результаты. Как правило, оптимальность оценивается с точки зрения использования ресурсов, реже — с точки зрения качества результатов.

Задача выбора КМ [17] состоит из нескольких частей: а) выбор методов, применимых в условиях района; б) определение наилучшей методики работ отдельным методом по оценке ожи-

даемых результатов его применения; в) составление возможных КМ; г) оптимизация КМ.

Проведенная постановка задачи выбора КМ относится к стадии проектирования работ второго уровня организации, когда все данные известны лишь приблизительно. Намеченный при проектировании КМ должен уточняться в ходе проведения РГС с учетом результатов его применения (рис. 1). В целом определение КМ — не одноразовое мероприятие, а многоэтапная система, состоящая из этапов «подготовка исходных данных для вы-

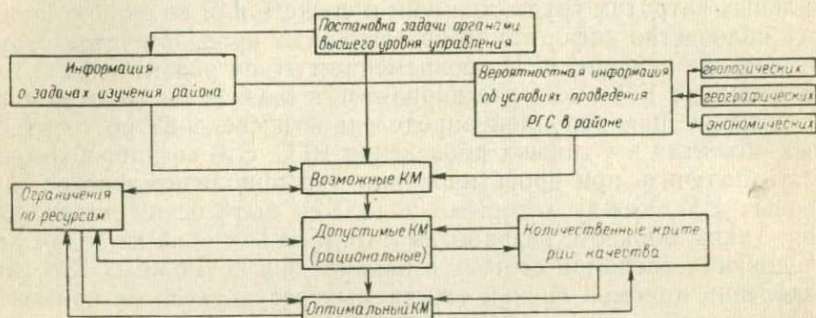


Рис. 1. Принципиальная схема определения комплекса методов (КМ).

бора КМ — выбор КМ — проведение полевых работ — корректировка исходных данных — уточнение КМ — проведение полевых работ — ...» (рис. 2). При такой постановке задача выбора КМ представляет собой задачу третьего уровня организации, когда выбирается КМ для региона, изучаемого в течение ряда лет многими партиями. В этом случае данные для корректировки КМ получают при работах разных партий. При подобном построении решения задачи на отдельных ее ступенях могут применяться различные критерии выбора (см. табл. 4), однако все они должны быть согласованы с общим критерием оценки действия КМ.

Для оптимизации КМ на основе изложенного может быть предложена следующая общая символическая формулировка задачи: найти комплекс методов $\{A_j\}$, методику и последовательность их применения, которые обеспечат $\max P(B_i)$ и $\max P_p(B_i)$ при ограничениях 1) $x_j \geq 0$, $t_j \geq 0$, 2) $\sum x_j \leq X$ и 3) $t_j \leq T$, где $P(B_i)$ — средняя вероятность; $P_p(B_i)$ — средняя достоверность выявления объектов РГС; x_j — затраты на применение метода A_j ; t_j — время на применение метода A_j ; X — общий ресурс средств и материального обеспечения; T — предельное время на проведение РГС.

Задачи подобного рода относятся к задачам оптимального распределения ресурсов и оптимизации поиска, для которых имеется ряд решений [17, 25, 62, 121 и др.]. Задача определения

КМ (особенно рационального) может рассматриваться также как одна из разновидностей задачи распознавания образов [41].

Основные трудности оптимизации КМ связаны с тем, что зависимости, описывающие процесс РГС, нелинейны. Это при-

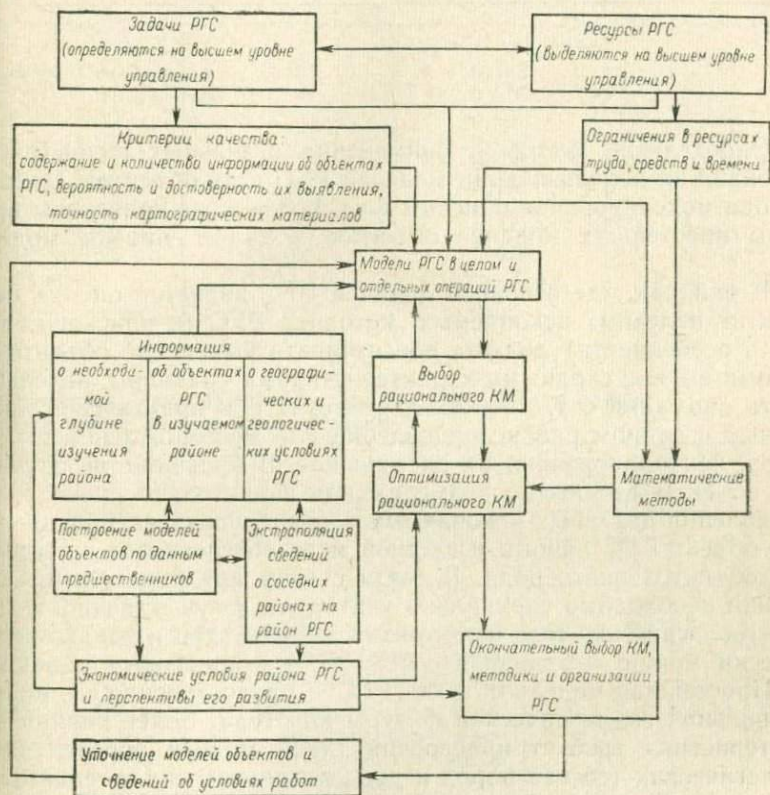


Рис. 2. Операционная схема выбора КМ и его оптимизации.

водит к необходимости использования сложных способов, которые часто неоправданы из-за приближенного характера исходных данных. В связи с этим имеет смысл сочетать выбор узкого круга рациональных КМ на основе общих соображений о применимости каждого метода и опыта работ в аналогичных районах и последующую их оптимизацию. При этом можно использовать опыт применения отдельных методов и различных их сочетаний в виде типовых рациональных КМ для различных геологических обстановок проведения РГС (см. гл. V).

МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАБОТ

Определение методики применения отдельных видов работ основано на использовании моделей РГС и их объектов. Основы метода моделирования описаны в гл. I. Здесь же приведены примеры простейших моделей объектов и далее описаны модели РГС.

В районах, где основной задачей РГС является оценка перспектив полезных ископаемых, методика РГС (и поисковых работ в особенности) должна обеспечивать выявление объектов с такими же или сходными характеристиками (размеры, интенсивность аномалий и т. п.), как характеристики практически интересных в данном районе проявлений или месторождений и объектов, контролирующих их размещение. В большинстве случаев эти объекты сходны по размерам или значительно превосходят проявления полезных ископаемых. Ориентировка на проявления как объект РГС лишь в известной мере обеспечивает и выявление объектов иного рода. В связи с этим при определении методики необходимо специально учитывать и существенно отличные геологические тела и тектонические структуры, однако практически можно ограничиваться моделями поисковых объектов.

Простейшая модель объекта РГС — представление его в виде правильной геометрической фигуры или тела. Более полная характеристика требует присвоения такой модели определенных геологических (состав пород и др.), геофизических и геохимических (интенсивность аномалий, их изрезанность и др.) свойств. Для их выбора могут быть применены различные статистические процедуры [14, 44, 58 и др.]. В характеристику моделей должны войти и сведения о погрешностях методов при их выявлении. Обязателен учет характеристик среды, в которой могут находиться объекты.

Как пример простейших моделей в табл. 6 приведены некоторые данные о размерах геологических тел и разрывов, полученные при изучении ряда геологических карт масштаба 1 : 50 000 в Казахстане и Средней Азии, а в табл. 7 — некоторые сведения о характеристиках оловянных проявлений для Сихотэ-Алиня. Для более сложных случаев необходимо определить исходные данные о практически интересном месторождении. Опыт

ТАБЛИЦА 6

Распределение геологических тел, изображенных на геологических картах масштаба 1 : 50 000

Размеры, км	Частота встречаемости размеров		
	Геологические тела		Разрывы
	Длина	Ширина	
Менее 0,30	0,101	0,145	0,121
0,31—0,60	0,147	0,206	0,149
0,61—1,30	0,166	0,253	0,248
1,31—1,90	0,195	0,169	0,115
1,91—2,50	0,118	0,085	0,082
2,51—3,80	0,120	0,091	0,118
3,81—5,00	0,039	0,027	0,059
5,01—6,30	0,027	0,014	0,038
Более 6,30	0,087	0,010	0,070
Медиана	1,30—1,60	0,91—1,30	0,90—1,30
Среднее	1,50	0,95	1,10

ТАБЛИЦА 7

Характеристика месторождений олова в Кавалеровском районе (Сихотэ-Алинь) по отдельным методам

Методы	Качественные характеристики	Размеры площади, км ²		Вероятности	
		средняя	стандарт	R _j	Q _j
Визуальный	Наличие измененных пород (хлоритизация, сульфидизация и пр.)	3,8	7,3	0,79	0,89
Магниторазведка	Наличие аномалий северо-западного простирания, связанных с дайками	1,9	5,0	0,34	0,58
Литогеохимический по вторичным ореолам:	Содержание, %:				
олова	более 0,001	2,8	4,1	0,83	0,81
свинца	более 0,003	3,7	4,4	0,91	0,94
мышьяка	более 0,01	2,1	3,3	0,62	0,55
меди	более 0,001	1,1	1,6	0,71	0,42
Гидрогеохимический:	Содержание:				
сульфат-ион	более 6 мг/л	4,7	7,2	0,64	0,87
сумма тяжелых металлов	до 3 мг/л	5,3	7,5	0,71	0,89
то же	более 3 мкг/л	2,0	1,9	0,99	0,63
Шлиховой	Содержание касситерита более 50 знаков на шлик	4,6	9,9	0,92	0,78

работ в ряде районов СССР, данные по распределению общих запасов и добычи полезных ископаемых в зависимости от размеров месторождений позволяют считать, что в большинстве районов проведения геологических съемок масштаба 1:50 000 впервые или глубинного геологического картирования следует считать объектом среднее месторождение, на котором может быть построено горнодобывающее предприятие. В настоящее время глубина залегания таких месторождений в закрытых районах, при которой рационально проведение РГС, составляет 100—300 м в зависимости от степени экономической освоенности района. В будущем (к 1990—2000 гг.) в экономически хорошо освоенных районах она может достигнуть 500—800 м [111]. Рассмотрим примеры моделирования некоторых месторождений с учетом высказанных соображений (материалы М. Б. Рыбакова [23]).

Анализ условий залегания 45 магнетитовых месторождений скарнового происхождения Тургая, Саян и Алтая показывает, что они в большинстве случаев представляют собой уплощенные тела примерно одинаковых размеров по простиранию и падению и небольшой мощности. Размеры среднего по запасам месторождения 400×400 м, мощность 30 м. При использовании для их выявления геофизических методов такое тело можно представить как тонкий наклонный пласт ограниченных размеров по падению и простиранию со средним углом падения 50—60°.

Изучение магнитной восприимчивости образцов руд с известным содержанием железа показало следующую зависимость по типам руд (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8
Магнитная восприимчивость железных руд

Типы руд	Содержание железа, %	χ , 10^{-6} СГСМ
Бедные	До 30	0,05—0,06
Средние	30—50	0,07—0,14
Богатые	50—70	0,15—0,22

Для среднего месторождения можно принять за основу сведения по средним типам руд: $\chi=0,1$ СГСМ, избыточная плотность не менее 1 г/см³. Для некоторых месторождений установлено, что индуцированная намагничённость преобладает над остаточной, направление вектора остаточной намагничённости невыдержанное и часто не совпадает с направлением современного поля. Для Абаканского месторождения отношение $I_n/I_i=Q$ меньше 0,2, для Акзасского — значения Q близки к единице. Расчет аномального эффекта, создаваемого телом с такими свойствами в магнитном и гравитационном полях, показывает, что величины аномалий по амплитуде и размерам близки к наблюдавшимся над действительными телами. Так, гравитационная аномалия над телом с запасами 100 млн. т при глубине залегания 100 м равна 1,7 мгал по расчету, реальное тело в Тургайском прогибе с близкими размерами создаст аномалию 2 мгал.

Медно-молибденовые прожилково-вкрапленные месторождения, судя по описаниям месторождений Чили, США, Болгарии и СССР, более разнообразны. Общими морфологическими чертами их являются более или менее

изометрические, уплощенные по вертикали тела с превышением горизонтальных размеров над вертикальными обычно не более чем в 4—5 раз. Месторождения в плане обычно также изометричны — соотношение длины и ширины $1/2—1/3$. Размеры среднего месторождения $400 \times 700 \times 200$ м, содержание меди в рядовых рудах около 0,5%, запасы среднего месторождения около 0,5 млн. т. При содержании сульфидов 15—25% плотность прожилково-вкрапленных руд $2,69 \text{ г/см}^3$ при стандарте 0,07, магнитная восприимчивость 10^{-6} т^{-1} СИ. Рудным телам соответствуют участки с пониженным магнитным полем. Иногда в рудах содержится магнетит (до 10%), в таких случаях создаются отчетливые магнитные аномалии. Меднопорфировые руды обладают обычно пониженным электрическим сопротивлением (до 10—20 Ом·м). Расчеты показывают, что площадь аномалии, установленной по методу ВП, над таким месторождением будет 500×400 м при интенсивности 10—13%. Данные полевых наблюдений над действительными месторождениями подтверждают эти расчеты.

Аналогично описанным могут быть построены модели других объектов геологического исследования. Для составления достаточно полного описания объектов целесообразно применение ЭВМ. При обработке длинных рядов наблюдений с большими наборами признаков можно получить стандартные образы типовых геологических объектов (геологических тел, складок, разрывов, месторождений и т. п.), которые будут основой интерпретации материалов ряда методов и планирования геологоразведочных работ. Вопрос о таких моделях сейчас стоит довольно остро, поскольку использование геофизических и геохимических методов для глубинного изучения геологического строения показало, что существующие модели не обеспечивают применения этих методов [22]. Однако, применяя подобные индуктивные модели, необходимо учитывать ограничения, охарактеризованные в гл. I при описании метода моделирования.

МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Эти модели описывают структуру процесса сбора информации (операционные модели) и закономерности ее обработки (математические модели).

Операционные модели

Операционные модели на этапе наблюдений рассматривают процесс изучения пород, выделения геологических тел, выяснения их пространственного положения и формы и изучение отдельных характеристик геологических тел (состава, физических свойств, геохимических параметров и т. п.).

Выделение геологических тел — выделение ассоциаций пород, установление их распространения на изучаемом участке района (в частном случае в разрезе) и характеристика состава, границ и других особенностей геологических тел. Эта операция предваряет составление легенды и является постоянным элементом прослеживания геологических тел. Если составление легенды

проводится не в начале работ (например, в плохо обнаженных районах), операция «выделение тел» становится одной из основных в процессе съемки и включает часть составления легенды (в частности, корреляцию тел). Операция «выделение тел» включает также выявление нестратифицированных тел, что приводит к необходимости изучать всю площадь снимаемого района некоторой сетью наблюдений (маршрутов, дешифрирования аэрофотоматериалов и т. п.).

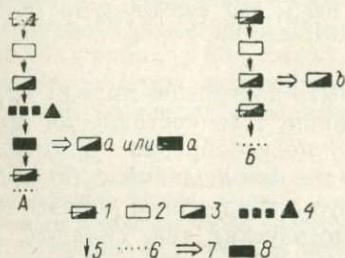


Рис. 3. Структура операции «выделение геологических тел».

А — при наличии разработанной легенды, Б — в плохо изученном районе в начальной стадии работ.

1 — выделение геологического тела; 2 — выделение геологической границы; 3 — изображение геологического тела на полевых картах; 4 — корреляция тела с общей легендой региона; 5 — переход между элементарными операциями; 6 — повторение элементарной операции; 7 — выводы, используемые в других операциях (индекс показывает способ получения); 8 — изображение геологического тела на окончательной карте.

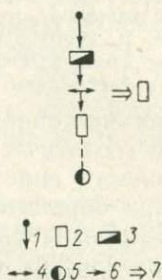


Рис. 4. Структура операции «составление частной легенды».

1 — полевые наблюдения; 2 — составление легенды по маршруту или разрезу; 3 — выделение геологических тел; 4 — изучение их взаимоотношений и порядка образования; 5 — установление возраста геологических тел; 6 — переходы между операциями; 7 — выводы, используемые в других операциях.

Операция «выделение тел» разделяется на следующие частные операции (рис. 3): а) обобщенная характеристика геологического тела с характеристикой элементарных ассоциаций; б) установление смены пород или ассоциаций; в) установление границы тела на местности, в разрезе, в керне и т. п.; г) обобщенная характеристика следующего геологического тела; д) выявление различий между геологическими телами.

Частные операции «а» и «г» могут быть интерпретированы как установление отношения эквивалентности между сочетаниями пород. В начальных стадиях проведения РГС такой набор признаков отсутствует и вырабатывается в процессе РГС. Для его определения могут быть применены различные статистические процедуры (распознавание образов и т. п.). Частные операции «б» и «д» связаны с выявлением нарушения эквивалентности по некоторому набору признаков.

Составление частной легенды (рис. 4) — установление последовательности формирования геологических тел (в частном случае их корреляция) и взаимоотношений между ними. Эта опера-

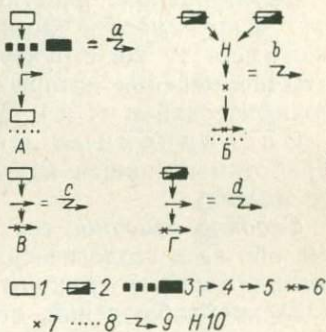
ция представляет собой установление среди геологических тел отношения порядка.

Прослеживание геологических тел — изучение распространения геологических тел, их формы и структуры, а также их пространственных сочетаний (геологических структур). В результате операции между геологическими телами устанавливаются отношения соседства и включения. Операция обычно проводится путем прослеживания границ тел, реже самих тел. В первом случае она использует нарушение отношения эквивалентности по

Рис. 5. Структура операции «прослеживание геологических тел и границ».

A — непосредственное прослеживание маршрутами; *B* — интерполяция между линиями наблюдения; *B* и *Г* — экстраполяция: *B* — геологической границы, *Г* — геологического тела.

1 — выделение геологической границы; 2 — выделение геологического тела; 3 — сопоставление с известным телом; 4 — прослеживание маршрутами, по аэрофотоснимкам, картам физических полей и т. п.; 5 — экстраполяция; 6 — проверка и устранение расхождений; 7 — выявление расхождений между соседними элементами; 8 — повторение элементарных операций или всей операции; 9 — выводы, используемые в других операциях (индекс — способ прослеживания); 10 — увязка геологических тел по разрезам, маршрутам и т. п.



обе стороны границы, во втором — его соблюдение. Имеются три различных способа построения геологических границ на карте: а) непосредственное прослеживание тел по простиранию, б) интерполяция границ между пересечениями, в) экстраполяция границ по правилам горной геометрии.

При непосредственном прослеживании (съемка хорошо обнаженного района, дешифрирование аэрофотоснимков и т. п.) операция имеет следующее строение (рис. 5): а) установление прослеживаемой границы в начальной точке, б) прослеживание границы наблюдениями по ломаной или прямой линии, т. е. отождествление геологических тел при пересечении границы и фиксация границы на местности, аэрофотоснимке и т. п.

Интерполяция границ широко применяется при съемке плохо обнаженных районов, обработке геофизических материалов, данных бурения и т. п. В этом случае можно выделить следующие частные операции (рис. 5, *B*): а) выделение на линии наблюдения геологических тел и границ, б) корреляция границ и тел между линиями и установление «невязок», в) выяснение причин «невязок» повторением предыдущих операций с большей детальностью или прямым прослеживанием границы.

Экстраполяция границ и тел по простиранию состоит из трех частных операций (рис. 5, *B, Г*): а) экстраполяция границы по правилам горной геометрии, б) проверка положения границы на местности или по аэрофотоснимку или другими

способами и выявление «невязки», в) изучение района «невязки» одним из описанных выше способов. При составлении геологической карты операция прослеживания представляет собой конечную операцию этапа наблюдений и обеспечивает переход от него к этапу обработки.

Выявление признаков полезных ископаемых — частный случай операции выделения геологических тел. Оно отличается от нее лишь признаками выявления объекта: в соответствии со спецификой полезного ископаемого эти признаки не обязательно литологические.

Оконтуривание участков распространения признаков полезного ископаемого — частный случай операции прослеживания. Оно имеет ту же структуру. Для поисковых методов, результаты применения которых известны в поле (шлиховой, гидрогеохимический и т. п.), обе операции обычно объединяются.

Операционные модели этапа обработки. Этап обработки посвящен изучению всего района или значительной его части.

Сводное описание геологических тел — обобщение всех данных обо всех геологических телах, изображаемых на карте как самостоятельные единицы. Обобщение проводится как сопоставление наблюдений, статистическая обработка данных и их группировка и классификация.

Составление сводной легенды включает выяснение последовательности формирования геологических тел района путем корреляции частных легенд, выяснение взаимоотношений тел и соотношение последовательности тел района с последовательностями тел других районов и определение возраста геологических тел. Составление сводной легенды состоит из операций (рис. 6): а) сопоставление частных легенд, б) выделение стратиграфических подразделений, в) выяснение взаимоотношений между подразделениями, г) установление взаимоотношений стратиграфических подразделений и нестратифицированных геологических тел (в первую очередь интрузивов) и тектонических структур, д) установление относительного возраста нестратифицированных образований, е) построение общей последовательности формирования геологических тел и тектонических структур, ж) выяснение возраста геологических тел и структур. Некоторые варианты структуры рассматриваемой операции приведены на рис. 6.

Составление геологической карты (рис. 7). При анализе операционной структуры следует различать составление предварительной и окончательной карт. При составлении предварительной (полевой) карты используют данные маршрутных наблюдений, а при составлении окончательной геологической карты чаще оперируют с идеализированными образами геологических тел (стратиграфические подразделения и т. п.), а также широко используют материалы изучения узловых

участков. Составление геологической карты имеет сложную структуру, которая зависит от обнаженности района, его строения и степени изученности. Во многих случаях эти факторы

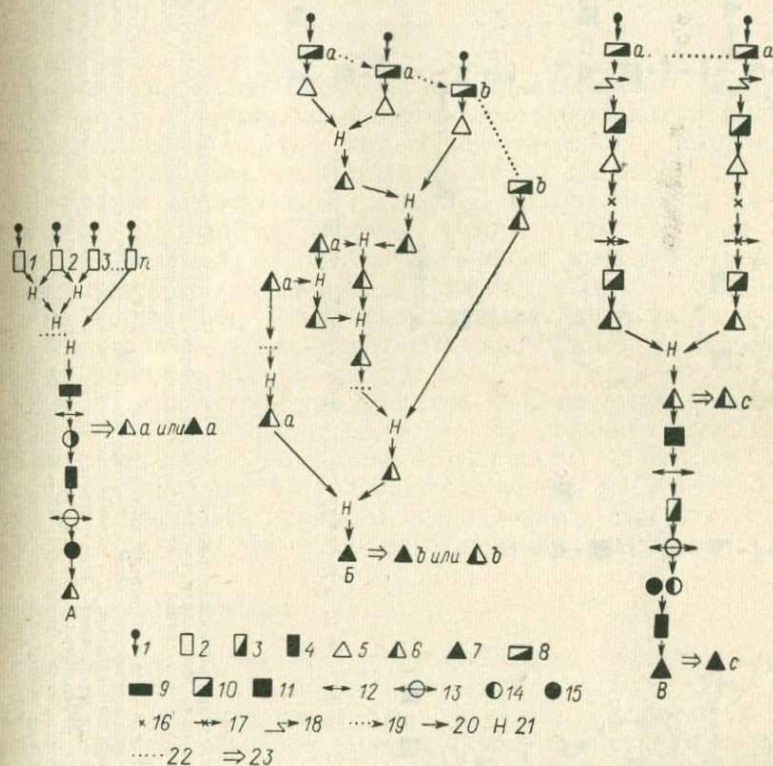


Рис. 6. Структура операции «составление легенды».

А — хорошо и В — плохо обнаженный район, В — на глубине.
 1 — полевые наблюдения и измерения; 2—4 — составление стратиграфической легенды: 2 — частной, 3 — предварительной общей, 4 — окончательной общей; 5—7 — составление легенды: 5 — частной, 6 — предварительной общей, 7 — окончательной; 8, 9 — составление обобщенных образов геологических тел: 8 — предварительное, 9 — окончательное; 10, 11 — составление геологической карты: 10 — предварительной, 11 — окончательной; 12, 13 — изучение взаимоотношений тел: 12 — стратифицированных, 13 — нестратифицированных образований; 14, 15 — стратиграфические исследования для установления возраста: 14 — стратифицированных, 15 — нестратифицированных образований; 16 — невязки между данными соседних наблюдений; 17 — проверка и выяснение невязок; 18 — прослеживание по пространству; 19 — маршрутные наблюдения; 20 — переходы между элементами операции; 21 — увязка разрезов и легенд; 22 — повторение предыдущих элементов или всей операции; 23 — выводы, получаемые при других операциях (знак — получаемый вывод). Индекс около знаков — способ получения выводов по рис. 3—5.

приводят к большим отступлениям от классической последовательности (рис. 7, А), рекомендуемой учебниками.

Составление карты полезных ископаемых включает две операции: а) составление регистрационной карты полезных ископаемых, б) анализ пространственных связей полезных ископаемых с геологическими телами и структурами. Так же как и

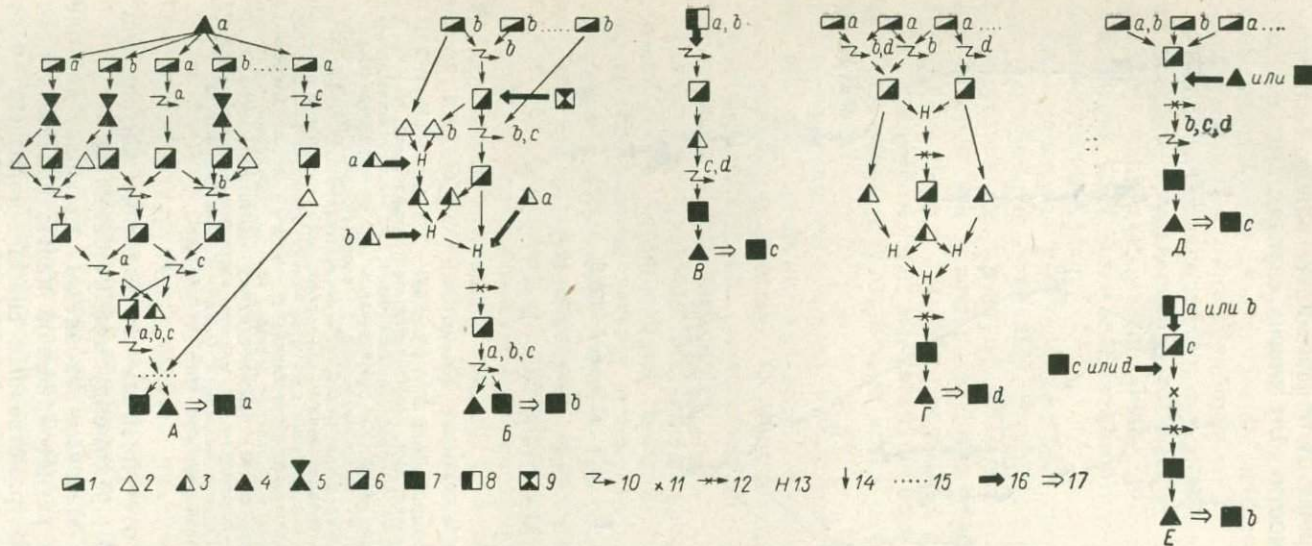


Рис. 7. Структура составления геологической карты.

На поверхности: А — хорошо обозначенный район с предварительно составленной легендой, В — плохо обозначенный район, легенда составляется одновременно со съемкой. На глубине: В — при наличии предварительной геолого-геофизической карты, Г — при ее отсутствии (обычно в процессе подготовки к полевым работам), Д — структура для случая Г при одновременном проведении геологической и геофизической съемки, Е — то же, для случая В.

1 — предварительное выделение геологических тел (индекс — способ выделения тел по рис. 3); 2—4 — составление легенды (индекс — способ составления легенды по рис. 6); 2 — частной, 3 — предварительной общей, 4 — окончательной; 5 — окончательное выделение геологических тел; 6—7 — составление геологической карты: 6 — предварительной, 7 — окончательной; 8 — геологическая карта, составленная по материалам предшествующих работ; 9 — детальная карта; 10 — прослеживание геологических тел и границ (индекс — способ прослеживания по рис. 5); 11 — выявление расхождений между соседними наблюдениями; 12 — проверка и устранение расхождений; 13 — корреляция геологических тел, разрезов и легенд; 14 — переход между отдельными операциями; 15 — повторение предшествующих операций; 16 — ввод данных других исследований (в том числе и предшествующих или проводимых на соседней территории, знак — характер вводимых данных); 17 — результат операции (знак — характер результата, индекс — способ получения результата).

для геологической карты, имеет смысл различие предварительной и окончательной карт.

Изучение узловых участков — детальное исследование отдельных участков, на которых могут быть решены вопросы, важные для понимания геологии всего района. Частный случай этой операции — изучение перспективных участков.

Составление карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза включает частные операции: а) выяснение возрастных и генетических связей полезных ископаемых с геологическими телами и структурами, б) выявление возможных участков концентрации полезных ископаемых, в) оценка возможных масштабов известных участков концентраций полезных ископаемых, г) оценка возможных масштабов концентрации полезных ископаемых в пределах участков предполагаемого их наличия, д) выработка рекомендаций по направлению геологоразведочных работ. Наиболее обычная структура этой операции показана на рис. 8.

Операционная структура процесса РГС на этапе обработки в целом зависит от ряда факторов: 1) степени изученности района и отдельных его частей, 2) важности узловых и перспективных участков, 3) природных условий работ. Наиболее часто встречающиеся варианты операционной структуры в зависимости от этих факторов приведены на рис. 9.

Математические модели

Математические модели преследуют цель количественного описания процесса обработки информации при РГС. Они представлены двумя моделями: модель процесса обработки, характеризующая увеличение в процессе обработки информационной емкости каждого элемента системы фиксирования сведений об объектах РГС, модель группы наблюдений и их интерпретации в процессе РГС.

Модель процесса обработки основана на том, что составление геологической карты (и РГС в целом) есть сбор и обработка информации о районе. Оценка информации при этом должна удовлетворять следующим требованиям: а) выявление каждого нового объекта или его признака приносит некоторое количество информации, зависящее от вероятности выявления объекта или его признака (другими словами, от геологической сложности района); б) количество информации должно зависеть от количества объектов или признаков. Этим требованиям удовлетворяет логарифмическая мера. Приближенно можно считать вероятность выявления объекта (или признака) в процессе РГС $P_i = 1/N_i$, где N_i — общее количество объектов i -го рода. Тогда

$$I_k = \sum_{(i)} \log N_i. \quad (1)$$

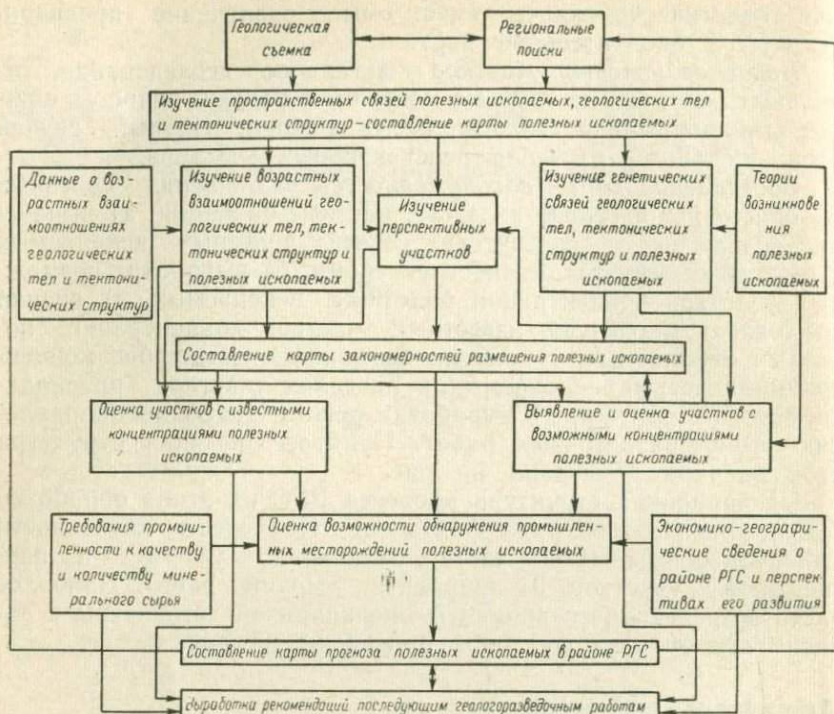


Рис. 8. Структура операции «составление карты закономерностей размещения полезных ископаемых и их прогноза».

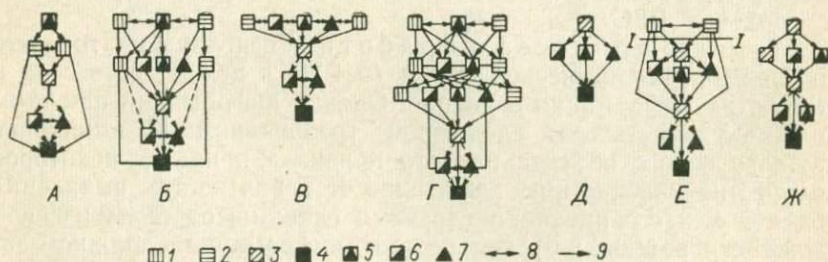


Рис. 9. Операционная структура РГС на этапе обработки.

А — хорошо и Б — плохо обнаженный одноярусный район; В — хорошо изученный одноярусный район; Г — плохо обнаженный труднодоступный одноярусный район; Д — хорошо и Е — плохо изученный погребенный складчатый комплекс; Ж — обновление геологических карт в процессе доизучения ранее заснятых площадей. I — геологические наблюдения; 2 — поиски перспективных участков во всем районе; 3 — 4 — составление геологической карты: 3 — предварительной, 4 — окончательной; 5 — изучение основного стратиграфического разреза; 6, 7 — изучение перспективных участков: 6 — известных по данным предшественников, 7 — выявленных в процессе РГС; 8 — одновременно проводимые работы; 9 — переходы между операциями.

Если при предшествующих работах выявлено K_i объектов, а при проведении РГС — N_i ($N_i \geq K_i$), то приращение информации составит

$$\Delta I_k = \sum_{(i)} \log N_i - \sum_{(i)} \log K_i. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) представляют собой сильное упрощение. Для уточнения вероятностей выявления объектов можно привлечь данные по соседним районам (см. определение вероятности $P_i^{об}$ на с. 51), а для вероятностей выявления признаков — различные справочники (например, классификаторы и тезаурусы различных информационно-поисковых систем), считая появление каждой градации признака, указанной в справочнике, равновероятной, т. е. $P_i = 1/K_{п}$, где $K_{п}$ — число градаций признака. Далее можно использовать формулу

$$I = - \sum_{(n)} P_i \log (1/K_k), \quad (3)$$

где K_k — число единиц обработки, содержащих данную градацию.

Предложенные формулы можно использовать для сравнения геологических карт различных регионов (табл. 9). В качестве

ТАБЛИЦА 9

Удельное количество информации на некоторых картах складчатых районов

Страна, район	Удельное количество информации, 10^{-2} бит/км ²						
	Стратиграфия	Состав	Интрузии	Дайки	Складки	Разрывы	Всего
СССР:							
Дальний Восток	1,93	1,39	1,47	2,23	1,36	1,71	10,00
" "	1,14	2,14	1,29	2,18	1,68	2,03	11,40
Англия:							
Эдинбург	1,28	1,29	0,97	0,63	0,99	1,32	6,5
Бэн-Нэвис	2,48	2,76	2,09	3,48	1,26	1,35	13,4
Канада, Сальмо	1,79	1,67	1,24	1,42	0,88	1,57	8,3

отдельных родов объектов приняты возрастные подразделения пород (стратиграфия), литологические подразделения внутри стратиграфических (состав), интрузии, дайки, разрывы и складки. Количество удельной информации позволяет сравнивать детальность и характеризовать в цифрах содержание карт различных районов.

В процессе обработки информации в результате выявления новых геологических объектов или их признаков неопределенность наших знаний об изучаемом районе уменьшается. Это дает возможность измерить количество информации в процессе обработки и выяснить закономерности обработки. Часть

документации каждой стадии обработки и сбора информации, представляющую законченное описание геологического объекта или нескольких объектов, будем называть сообщением. На стадии наблюдений сообщением является запись в маршрутном дневнике для каждой точки наблюдения, на стадии маршрутной обработки — геологическая схема маршрута, на стадиях первичного и окончательного обобщения — участок карты, соответствующий геологической структуре. Назовем единицей обработки часть сообщения, представляющую собой законченную часть характеристики объекта. На стадии наблюдений единицами обработки являются название породы и ее определение — каждое слово или сочетание слов, характеризующее свойство породы, условия ее залегания и т. п. Например, в следующем описании каждая часть, заканчивающаяся номером в скобках, представляет собой единицу обработки: пласты смяты в антиклинальную складку (1) с простираем осевой поверхности 320° (2) и падением ее $230^\circ \angle 50^\circ$ (3), углами падения крыльев юго-западного $230^\circ \angle 40^\circ$ (4) и северо-восточного $50^\circ \angle 70^\circ$ (5), погружение шарнира $320^\circ \angle 60^\circ$ (6). В ядре складки пласты смяты и сломаны (7).

Для стадии маршрутной обработки единицей является отдельное поле пород, выделенное на схеме, элементы залегания и условные знаки на отдельных полях пород. Так, символ *Вiул* (биотитовый гранит-порфир) состоит из 3 единиц, знак элементов залегания на карте из 2 — азимут и угол падения пласта. На этапе обобщения единица обработки — каждое геологическое тело, ограниченное на карте нормальными или тектоническими контактами, каждая литологическая разность, выделенная в его пределах, каждое тектоническое нарушение или складка. Количество информации, получаемой на каждой стадии обработки, может оцениваться по формуле (2) или (3), где N_i — количество единиц обработки в каждом сообщении.

При применении модели неравный объем содержания единиц обработки не оказывает существенного влияния: каждая единица обработки рассматривается как равноправная часть некоторой классификации, применяемой к геологическим телам и структурам данного района (так, при составлении крупномасштабных карт часто более важны отличия разновидностей одной породы, чем различия типов пород). Очевидно также, что количество информации необходимо определять для разных аспектов изучения района раздельно.

Как пример приведем изменение количества информации при составлении геологической карты в одном из районов Среднего Урала (табл. 10). Участок А сложен вулканогенно-осадочной толщей сложного строения, рассеченной многочисленными разрывами и местами подвергшейся гидротермальному изменению. Участок Б находится в пределах гранитного

ТАБЛИЦА 10

Процесс свертывания информации при обработке материалов маршрутных наблюдений

Группы данных	Участок А				Участок Б			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Возрастные	3	—	—	8	—	—	2	2
	1,6	—	—	3	—	—	1	1
Состав	107	16	17	11	405	204	2	2
	6,8	4	4,1	3,5	8,7	7,7	1	1
Интрузивные массивы	—	—	—	—	42	20	6	11
	—	—	—	—	5,4	4,3	2,6	3,5
Дайки	7	1	1	—	35	5	2	0
	2,8	0,5	0,5	—	5,1	2,3	1	0
Разрывы	13	—	—	3	78	10	5	4
	3,6	—	—	1,6	6,3	3,3	2,3	2
Измененные породы	19	7	7	2	106	30	16	9
	4,2	2,8	2,8	1	6,7	4,9	4	3,2
Полезные ископаемые	3	2	—	—	—	—	—	—
	1,6	1	—	—	—	—	—	—
Прочие (в том числе символы подразделений)	12	3	18	24	—	—	—	—
	3,6	1,6	4,2	4,6	—	—	—	—
Всего, бит	24,2	9,9	11,6	13,7	33,2	22,5	11,9	9,7

Примечания. 1. Стадии процесса: 1 — наблюдения, 2 — маршрутная обработка, 3 — первичное обобщение, 4 — окончательное обобщение (см. табл. 4). 2. В числителе — количество единиц обработки, в знаменателе — количество единиц информации.

массива, рассеченного разрывами и прорванного дайками гранит-порфиров.

Вообще в процессе РГС обработка данных осуществляется двумя путями: а) группировкой или, точнее, квантификацией — разбиением данных на группы сведений, связанных отношением эквивалентности в определенном смысле, и заменой каждой группы единым знаком или термином (это соответствует выделению геологических тел и структур различного ранга); б) генерализацией — установлением соответствия отдельных данных или групп данных более общему понятию, что соответствует для РГС, например, корреляции с соседними районами. На стадии маршрутной обработки происходит, как правило, группировка, что отражается в уменьшении количества информации, определенной по формуле (1) или (2), из-за исчезнове-

ния индивидуальных отличий каждого наблюдения. В дальнейшем может продолжаться группировка с выделением все более общих групп и уменьшением количества информации (участок Б) или начаться генерализация — сопоставление с соседними районами, свитами, ярусами и т. п. (участок А).

Резкое уменьшение количества единиц обработки при переходе от стадии наблюдений к стадии маршрутной обработки (составление маршрутной схемы) обычно, в том числе и для участка Б, связано с однообразием пород на участке и соответственно малым отличием описаний разных точек. Это случается довольно часто, и затраты маршрутного времени только на запись аналогичных данных составляют иногда 30—50%. Их сокращение и улучшение структуры рабочего времени возможны путем использования стандартизированных форм документации. Данные о применении различных форм документации [148 и др.] показывают (табл. 11), что сокращение вре-

ТАБЛИЦА 11

Сравнение различных способов документации при геологосъемочных работах

Способ	Среднее время документации, ч/100 записей		
	в поле	на базе	всего
Полная запись в дневнике, замеры и пометки наносятся на карту	33,2	3,5*	36,7
Обобщенное описание в дневнике, пометки и замеры наносятся на карту	25,0	2,8*	27,8
Обобщенное описание в анкетном листе или на перфокарте в виде пометок в определенных графах, замеры наносятся на карту	17,5	3,3**	20,8
Запись на магнитофон, замеры наносятся на карту	16,1	4,9**	21,0

* * Редакция записей и перенос на общую карту полевых наблюдений.

** Переписка и редакция полевых записей, перенос наблюдений на общую карту.

мени может достигать 25% при одновременном уменьшении погрешностей.

Погрешности возникают в процессе РГС при наблюдениях и далее при различных видах обработки. Их причина — неполнота первичных наблюдений. Она в известной мере компенсируется при использовании стандартизированных форм документации, при которых регистрация наблюдений проводится по определенному минимальному перечню. При переходе от стадии наблюдений к стадии маршрутной обработки погрешности

связаны с неполным использованием информации первичных наблюдений в процессе группировки данных. Они могут быть уменьшены применением автоматизированных способов обработки с учетом большого количества признаков.

При группировке погрешности связаны с чрезмерным обобщением данных, а при генерализации — с неправильностью сопоставлений, одной из причин которых является чрезмерная группировка и схематизм полученных групп. Вся дальнейшая обработка данных представляет собой переход от одного уровня абстракции к другому, более высокому. При группировке этот переход осуществляется по строго детерминированным правилам, легко поддающимся автоматизации. При генерализации переход составляет эвристическую процедуру, механизация которой затруднительна. Соответственно погрешности группировки могут быть исправлены с помощью автоматизации обработки при контроле за степенью обобщения и детальности получаемых данных. Неправильность генерализации и в первую очередь различного рода сопоставлений может быть выявлена лишь при содержательном обсуждении материалов.

Общая модель отдельного маршрута основана на том, что каждый маршрут представляет собой прогностический процесс, который может иметь ряд исходов с различной вероятностью их осуществления: 1) полностью подтвердить данные предыдущего маршрута (рис. 10, а); 2) исправить положение границ по сравнению с экстраполяцией от предыдущего маршрута (рис. 10, б); 3) показать отсутствие объекта, предположенного по данным предыдущего маршрута (рис. 10, в); 4) выявить новые объекты (рис. 10, г); 5) предположить существование новых объектов (рис. 10, з). В этом случае общая оценка количества информации от маршрута

$$I_m = \sum_i P_i \log n_i, \quad (4)$$

где P_i — вероятность того или иного результата; n_i — количество объектов, которых касается тот или иной результат. При сравнении различных маршрутов логично использовать величину информации, приходящуюся на единицу длины маршрута.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что предлагаемые способы оценки количества информации — приближенные уже в силу того, что они не учитывают связи между различными элементами сообщения или результатами маршрута.

МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РГС

Модели первого уровня

Наиболее важными характеристиками геологической информации, получаемой на первом уровне, являются содержание, надежность и точность (см. с. 25). Содержание информации мо-

жет быть оценено по ее соответствию определенному минимальному списку (см. с. 46). Надежность характеризуется значениями ошибок наблюдения, источниками которых являются плохая обнаженность района, некомпетентность или небрежность исполнителей, особенности геологии района и самих методов.

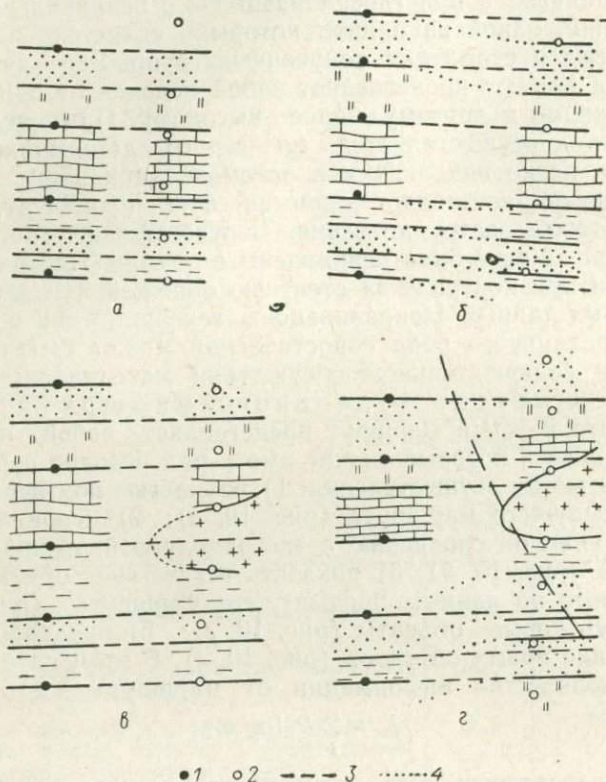


Рис. 10. Возможные результаты отдельного маршрута.

1 — маршрут № 1; 2 — маршрут № 2; 3 — экстраполяция границ по данным маршрута № 1; 4 — интерполяция границ между маршрутами № 1 и 2.

В каждом районе объекты наблюдения определенного рода могут присутствовать и могут отсутствовать, а при каждом наблюдении могут быть получены два результата: «имеется объект или его признак» (например, разрывное нарушение или его признак в виде аномалии проводимости) и «нет объекта (его признака)». Возможные при этом исходы каждого наблюдения показаны в табл. 12.

Ошибки I рода возникают из-за того, что различные объекты имеют одинаковые или сходные признаки (например, магнитные аномалии сходного характера), и из-за неправильного на-

ТАБЛИЦА 12

Возможные исходы наблюдения в разных условиях

Условия наблюдения	Результаты наблюдения	
	Признак выявлен (1)	Признак не выявлен (2)
Объект есть (1)	(11) объект присутствует и признак выявлен, вероятность p_{11}	(12) объект присутствует, признак не выявлен — ошибка II рода p_{12}
Объекта нет (2)	(21) объекта нет, признак выявлен — ошибка I рода p_{21}	(22) объекта нет, признак не выявлен, вероятность p_{22}

блюдения (например, неправильного определения породы). Ошибки II рода связаны с тем, что объект может не иметь рассматриваемого признака (например, разрывное нарушение может не всегда сопровождаться аномалией проводимости) и что необходимое наблюдение не проведено, например, в связи с плохой обнаженностью.

Вероятности различных исходов могут быть оценены эмпирически

$$p_{11} = \varepsilon_{\Pi} / \varepsilon_0, \quad (5)$$

$$p_{22} = (\varepsilon_{\Pi} - \varepsilon_M) / \varepsilon_0, \quad (6)$$

$$p_{12} = 1 - p_{11}, \quad (7)$$

$$p_{21} = 1 - p_{22}, \quad (8)$$

где ε_{Π} — количество всех наблюдений (правильных и неправильных), ε_M — количество неправильных наблюдений и ε_0 — количество наблюдений, необходимых для описания и выявления объекта по заранее определенному перечню (за эту величину можно принять также количество наблюдений, необходимых по мнению основного исполнителя или проведенных им в контрольном маршруте на тех же точках; последний способ и был применен для расчета величин, приведенных в табл. 14). Ошибки можно вычислить и по формулам, предложенным Е. А. Козловым [67]. Для ряда геофизических методов применимы формулы, предложенные В. Е. Зайцевым [53]:

ошибка I рода

$$p_{11} = \int_{S_0} P(F/H_0) d\nu(F) \quad (9)$$

и ошибка II рода

$$p_{22} = \int_{S_1} P(F/H_1) d\nu(F), \quad (10)$$

где $P(F/H_0)$ и $P(F/H_1)$ — функции правдоподобия соответственно при наличии и отсутствии аномалий; $\nu(F)$ — n -мерное

пространство вектора наблюдений $F[f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)]$; H_0 и H_1 — гипотезы о наличии и отсутствии объекта, S_0 и S_1 — области пространства множества точек, соответствующие гипотезам H_0 и H_1 .

В табл. 7, 13 и 14 приводятся некоторые характеристики ошибок в разных районах СССР. Анализ этих таблиц и ряда других материалов показывает, что возможным путем уменьшения ошибок является (кроме тривиальных способов применения методов с меньшим значением погрешностей) применение комплекса методов (см. табл. 26—28) и большего количества наблюдений (это относится в первую очередь к ошибке II рода). Для уменьшения ошибок геологических наблюдений следует разделять их на возможно более простые действия путем установления перечня обязательно фиксируемых признаков и сведения большей части описания к определению их наличия или отсутствия [21, 159 и др.].

ТАБЛИЦА 13

Характеристики методов поисков полезных ископаемых

Районы	Литогеохимический метод				Шлиховой метод		
	Свинец	Цинк	Молибден	Золото	Свинец	Золото	Вольфрам
	Ошибка II рода p_{12}						
Район 1	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,30	—
Район 2	0,30	0,40	0,30	—	0,60	—	0,50
Общая	0,23	0,35	0,35	0,50	0,60	0,30	0,50
	Ошибка I рода p_{21}						
Район 1	0,09	0,00	0,76	0,00	0,19	0,00	—
Район 2	0,11	0,10	0,25	—	0,08	—	0,24
Общая	0,10	0,09	0,45	0,00	0,10	0,00	0,24

ТАБЛИЦА 14

Значения ошибок геологических наблюдений при первичной документации в некоторых районах Урала и Кавказа

Показатели	Урал	Кавказ
Общее количество единиц обработки	590	612
Количество единиц:		
исправленных	85	30
дополненных	233	228
Ошибка I рода p_{21}	0,144	0,049
Ошибка II рода p_{12}	0,395	0,373

Модели второго уровня

Общая идея моделей второго уровня — представление процесса обнаружения элементарных геологических объектов РГС (в том числе и объектов региональных поисков) как процесса, при котором обнаружение происходит в результате ряда случайно расположенных испытаний (наблюдений, измерений, проб и т. п.). Такое представление при постановке задачи и разработке методики РГС позволяет использовать вероятностные характеристики, зависящие от количества испытаний и, следовательно, от затрат на проведение РГС (таким образом можно неявно учесть и экономические факторы). В целом для моделей второго уровня используется следующая формулировка: задача РГС — выявление и оконтуривание объектов B_i (в том числе и объектов поисков), характеризующихся перечнем признаков $\{C_K\}$, с заданными вероятностью обнаружения P_z , достоверностью выявления P_{pz} и степенью оконтуривания P_z . Перечень признаков $\{C_K\}$ определяет модель объекта и указывается в проекте на проведение работ.

Модели второго уровня учитывают характеристики процесса РГС, полученные на первом уровне организации, включая их в виде исходных характеристик методов.

Введем следующие обозначения:

A_j — метод выявления объектов;

B_i — объект изучения i -го рода. Обычно можно ограничиться выделением шести основных родов объектов: стратиграфические, интрузивные, петрографические, разрывы, складки и полезные ископаемые;

$P_i^{об}$ — априорная вероятность наличия объекта i -го рода в каждой точке изучаемого объекта. В простейшем случае она определяется по формуле

$$P_i^{об} = \Sigma s_i / S_{эт}, \quad (11)$$

где Σs_i — общая протяженность, площадь или объем объектов i -го рода в эталонном районе; $S_{эт}$ — протяженность, площадь или объем эталонного района. Размер эталонного района в общем случае определяется устойчивостью получаемой оценки $P_i^{об}$. Во многих случаях для складчатых районов при определении величины $P_i^{об}$ по отношению к рудным месторождениям достаточны площади 1500—2000 км² [23, 133, 137 и др.]. Если предполагается, что в районе только один объект (случай наиболее обычный для поисковых работ), вероятность $P_i^{об}$ представляет собой вероятность наличия единичного объекта в любой точке изучаемого района $P_i^{ед}$. Она может быть определена по формуле

$$P_i^{ед} = s_i / S_{эт}, \quad (12)$$

где s_i — размер единичного объекта i -го рода;

γ_{ij} — вероятность выявления объекта i -го рода единичным испытанием по методу A_j (далее называется единичная вероятность). Она может быть определена как вероятность обнаружения объекта единичным испытанием в сети из прямых линий (см. далее) и как вероятность $P_i^{\text{ед}}$. В последнем случае в формуле (12) вместо s_i следует использовать s_{ij} — размер объекта по данным метода A_j . Единичная вероятность γ_{ij} для поисков зависит от экономической освоенности района (см. далее определение плотности сети);

R_{ij} — условная вероятность выявления истинного объекта i -го рода методом A_j ;

Q_{ij} — условная вероятность выявления любого объекта i -го рода методом A_j .

Вероятности R_{ij} и Q_{ij} соответствуют вероятностям p_{11} и p_{22} для первого уровня организации работ, но отличаются тем, что в них учитываются погрешности группы наблюдений и погрешности интерпретации данных метода на основе опыта его применения. Обозначим α — общие размеры объектов i -го рода в эталонном районе, β — общие размеры объектов i -го рода, выявленных методом A_j в эталонном районе, и δ — общие размеры объектов, ошибочно выявленных как объекты i -го рода по данным метода A_j . Тогда

$$R_{ij} = \beta / (\beta + \delta), \quad (13)$$

$$Q_{ij} = \beta / \alpha \quad (14)$$

и ошибка I рода = $1 - R_{ij}$, а ошибка II рода = $1 - Q_{ij}$.

Для геофизических методов значения ошибок могут быть вычислены [67, 79 и др.], для геохимических методов ошибка II рода определяется по общепринятым правилам [60];

W_{ij} — эффективная ширина обнаружения объектов i -го рода методом A_j ,

$$W_{ij} = 0,63s_i Q_{ij} / m_j, \quad (15)$$

где m_j — заданное количество испытаний в пределах одного объекта (коэффициент кратности выявления объекта);

k_j — количество испытаний на 1 км² изучаемого района;

d_j — расстояние между профилями при проведении работ по правильной сети, км.

Будем называть работы дискретными, если размеры объекта в каком-либо измерении меньше размеров ячейки сети наблюдений, и непрерывными, если размеры объекта во всех измерениях больше размеров ячейки сети (т. е. расстояния между отдельными наблюдениями или линиями наблюдений).

Обнаружение и оконтуривание объекта. Модели обнаружения и оконтуривания объекта представлены двумя группами: а) модели геометрической вероятности и б) модели выборочной вероятности. Обе модели в неявной форме реализуют представление о том, что существует некоторое поле

вероятности наличия объекта данного рода в данном районе. Это поле представляет собой функцию от геолого-структурной обстановки района (геолого-структурного поля в понимании В. В. Аристова [6]). Практически это означает, что каждая точка изучаемого района может быть охарактеризована множеством $\{a_n\} = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, составленным из вероятностей наличия объектов B_1, B_2, \dots, B_n в данной точке района. В простейшем случае все значения a_i будут одинаковы для всех объектов i -го рода, а при поисковых работах на одно полезное ископаемое множество сводится к единственному члену $P_i^{\text{ед}}$.

Модель геометрической вероятности [103, 104, 109] довольно широко используется при разного рода поисково-разведочных расчетах. Процесс РГС в этой модели представляется как «набрасывание» на изучаемый район правильной (прямоугольной, ромбической или другой) сети из прямых линий или из точек, расположенных по прямым линиям. Объекты РГС аппроксимируются правильными геометрическими фигурами (прямоугольник, ромб, эллипс и др.). Объект считается обнаруженным, если в его пределы попадает отрезок линии или определенное количество точек сети. Вероятность обнаружения объектов произвольной формы рассмотрена только в работах О. Г. Семеновой [109 и др.]. Ошибки метода в этой модели не учитываются. Для объектов эллиптических очертаний И. Д. Савинским [103] составлены таблицы и номограммы вероятности обнаружения объекта точками прямоугольной сети при различных соотношениях размеров и ориентировки эллипса и сети и различном эксцентриситете эллипса. Применение этих таблиц для определения единичных вероятностей и других расчетов при РГС масштаба 1 : 50 000 и более крупного вполне оправдано.

Модель выборочной вероятности [17, 135, 136, 149] применяется в основном для случаев, когда единичная вероятность менее 0,01. Она основана на предположении, что реализация процесса РГС случайна, т. е.: 1) объект может быть обнаружен на любом участке маршрута или любым дискретным испытанием, 2) вероятность обнаружения не зависит от результатов, полученных на предыдущем отрезке маршрута или предыдущим испытанием, а также другим методом. Плотность испытаний в районе приблизительно равномерна, характер расположения испытаний может быть любым. Использование этих предположений при РГС оправдано характером работ и приближенностью сведений об объектах и условиях работ.

Для определения вероятности обнаружения необходимо учесть ошибку единичного испытания и необходимость многократного подсечения объекта. С этой целью при вычислении используется полная единичная вероятность обнаружения объекта одним испытанием

$$\gamma_{is} = Q_{ij} \gamma_{ij} / m_j. \quad (16)$$

На основе высказанных предположений можно получить формулы для вычисления вероятности обнаружения объекта одним или несколькими методами при разных предположениях о характере испытаний и их расположении (табл. 15).

Предположение о независимости испытаний и приблизительно равномерном распределении вероятности наличия объекта по всему району при значительной плотности наблюдений или проведении работ несколькими методами приводит к завышенной вероятности обнаружения, определенной по формулам (17), (18), (34) и (36). В связи с этим целесообразнее использовать при вычислениях эффективную ширину обнаружения и связанные с нею формулы (19), (20), (38) и (39).

Во всех районах проведения РГС и даже при проведении чисто поисковых работ, как правило, стоит задача обнаружения объектов нескольких родов. В соответствии с этим вероятность обнаружения может вычисляться для объектов каждого рода. Однако во многих случаях задача может быть упрощена как обнаружение объектов, характеризующихся наихудшими условиями, минимальной единичной вероятностью, максимальными погрешностями и т. п. Подобный объект может быть синтетическим (единичная вероятность характерна для объектов одного рода, ошибка для объектов другого рода и т. п.). Определенная вероятность его обнаружения может трактоваться как обеспечивающая обнаружение всех остальных объектов с меньшей вероятностью. Примеры применения формул приведены далее, порядок вычисления подробно описан в работе автора [17].

Оценка достоверности обнаружения объекта представляет собой характеристику вероятности того, что контрольное наблюдение или повторные работы подтвердят его обнаружение. Простейшее сочетание состояний района по отношению к возможному объекту и возможных результатов работ и их вероятности приведены в табл. 16.

Достоверность положительного результата, т. е. вероятность того, что в районе действительно есть объекты i -го рода, если получен положительный результат, определяется формулой

$$P_i(11) = \frac{P_i^{ед}P_{ij}}{(1 - P_i^{ед})(1 - R_{ij}) + P_i^{ед}P_{ij}} \quad (40)$$

Вероятность ложности этого результата составит

$$P_i(21) = 1 - P_i(11) \quad (41)$$

Достоверность отрицательного результата определяется по формуле

$$P_i(12) = \frac{P_i^{ед}(1 - P_{ij})}{(1 - P_i^{ед})R_{ij} + P_i^{ед}(1 - P_{ij})} \quad (42)$$

а его правильность

$$P_i(22) = 1 - P_i(12) \quad (43)$$

Величины	Формулы		
	при использовании единичных вероятностей		при использовании эффективной ширины поиска
	Дискретные поиски	Непрерывные поиски	
Вероятность обнаружения объекта дискретными N или непрерывными L испытаниями (φ — потенциал поисков), или при неправильной сети с плотностью испытаний k и с расстоянием между профилями d	$P = 1 - e^{-\varphi}, \quad (17)$ <p>где $\varphi = -N \ln(1 - \gamma_s)$ или при $\gamma_s < 0,01$ $\varphi \approx N\gamma_s$</p>	$P = 1 - e^{-\varphi}, \quad (18)$ <p>где $\varphi = L\gamma_s$</p>	$P = 1 - e^{-Wk} \quad (19)$ $P = 1 - e^{-W/d} \quad (20)$
Математическое ожидание необходимого количества испытаний (\bar{N} , \bar{L} , \bar{k} , \bar{d})	$\bar{N} = 1/\gamma_s \quad (21)$	$\bar{L} = 1/\gamma_s \quad (22)$	$\bar{k} = 1/W \quad (23)$ $\bar{d} = W \quad (24)$
Среднее квадратическое отклонение необходимого количества испытаний	$\sigma(\bar{N}) = \pm 1/\gamma_s \quad (25)$	$\sigma(\bar{L}) = \pm 1/\gamma_s \quad (26)$	$\sigma(\bar{k}) = \pm 1/W \quad (27)$ $\sigma(\bar{d}) = \pm W \quad (28)$
Количество испытаний, необходимое при заданной вероятности обнаружения P_z	$N_H = \frac{\ln(1 - P_z)}{\ln(1 - \gamma_s)}, \quad (29)$ <p>при $\gamma_s < 0,01$</p> $N_H \approx - \frac{\ln(1 - P_z)}{\gamma_s} \quad (30)$	$L_H = - \frac{\ln(1 - P_z)}{\gamma_s} \quad (31)$	$k_H = - \frac{\ln(1 - P_z)}{W} \quad (32)$ $d_H = - \frac{W}{\ln(1 - P_z)} \quad (33)$
Общая вероятность обнаружения объекта комплексом методов $\{A_j\}$, каждый из которых характеризуется своими величинами γ_{js} , W_j , N_j , L_j , φ_j	$P_s = 1 - e^{-\sum (j) \varphi_j} \quad (34)$	$P_s = 1 - e^{-\sum (j) \varphi_j} \quad (36)$	$P_s = 1 - e^{-\sum (j) (W_j k_j)} \quad (38)$
	$\varphi_j = -N_j(1 - \gamma_{js}) \quad (35)$	$\varphi_j = L_j \gamma_{js} \quad (37)$	$P_s = 1 - e^{-\sum (j) (W_j/d_j)} \quad (39)$

Вероятности состояний района и результатов работ

Состояния района и их вероятности	Вероятности результатов работ	
	(1) есть объект	(2) нет объекта
(1) есть объект $P(1) = P_i^{ед}$	P_{ij}	$1 - P_{ij}$
(2) нет объекта $P(2) = 1 - P_i^{ед}$	$1 - R_{ij}$	R_{ij}

Если в районе применяется комплекс методов A_1, A_2, \dots, A_n , каждый из которых характеризуется своими величинами P_{ij} и R_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$) и методы от A_1 до A_k дают отрицательный результат, а методы от A_{k+1} до A_n — положительный (совокупность результатов T), то достоверность положительного результата при предположении о независимости результатов каждого метода можно определить по формуле

$$P_i(1T) = \frac{P_i^{ед} (1 - P_{i1}) (1 - P_{i2}) \dots (1 - R_{ik}) P_{i(k+1)}, \dots, P_{in}}{[(1 - P_i^{ед}) R_{i1} R_{i2}, \dots, R_{ik} (1 - R_{i(k+1)}) \dots (1 - R_{in})] + P_i^{ед} (1 - P_{i1}) (1 - P_{i2}) \dots (1 - P_{ik}) P_{i(k+1)}, \dots, P_{in}} \quad (44)$$

Вероятность того, что этот объект будет ложным,

$$P_i(2T) = 1 - P_i(1T). \quad (45)$$

Примеры применения предложенных формул для оценки результатов приведены в гл. III, где разобраны и выводы, которые можно получить с помощью изложенных показателей результатов работ.

Выбор сети наблюдений. Выбор сети наблюдений необходимой и достаточной для решения задач РГС, — первая часть определения КМ. Определению сетей наблюдения при разведочных или поисково-разведочных работах посвящен ряд работ [51, 52, 79 и др.]. Постановка задачи при РГС заметно отличается от принятой в этих работах, поскольку при РГС выбор той или иной сети во многом определяется экономико-географическими условиями изучаемого региона.

В районах экономически хорошо освоенных задач РГС является обнаружение по возможности всех проявлений полезных ископаемых, потенциально перспективных структур и геологических тел, поскольку даже незначительные проявления на поверхности могут быть указателем наличия полезных ископаемых на глубине и соответственно могут заметно повлиять на ту или иную оценку перспектив района в целом и направление геологоразведочных работ. Поэтому при выборе сети необходимо ориентироваться на выявление всех интересных проявлений по-

лезных ископаемых и контролирующих их геологических тел и тектонических структур.

В районах экономически плохо освоенных интерес представляют в первую очередь крупные месторождения, которые могут быть основой самостоятельного горнодобывающего предприятия и центром, от которого начинается освоение района. Очевидно, что в таких условиях затраты на выявление и изучение проявлений и даже мелких месторождений мало оправданы, так как в случае промышленного освоения района поиски слепых месторождений встанут в повестку дня лишь спустя значительное время, когда и изученность района, и развитие техники и методики геологоразведочных работ позволит провести их с большей целенаправленностью и большим успехом. Если же крупное месторождение не будет выявлено, материалы РГС, как будет показано далее, устареют и потребуют обновления раньше, чем появится необходимость оценки перспектив обнаружения слепых месторождений или начнется освоение мелких месторождений.

При разной постановке задачи плотность сети колеблется в 5—10 раз и более и соответственно колеблется затраты на РГС (табл. 17). Определение сети (ее плотности, размеров

ТАБЛИЦА 17

Расчетная плотность опробования
в зависимости от размеров объекта поисков (Киргизия)

Вероятность выявления перспективных участков	Литогеохимический			Шлиховой метод		
	Pb	Mo	Au	Pb	Au	W
Размер минимальный, км ²	0,48	0,36	0,02	0,45	1,05	2,10
Вероятность 0,7	32,7	45,0	723,0	86,0	15,0	7,5
Вероятность 0,9	36,3	86,1	1381,0	68,0	27,6	14,4
Размер средний, км ²	4,05	1,70	0,24	3,75	3,35	8,77
Вероятность 0,7	3,9	9,3	60,3	4,2	4,7	1,8
Вероятность 0,9	7,5	17,7	115,3	8,1	9,0	3,3

ячейки, расположения профилей и т. п.) основано на применении формул вероятности обнаружения [17, 51, 52, 56, 103, 104 и др.]. В табл. 18 приведены размеры сетей наблюдений, рассчитанных для поисков меднопорфировых месторождений в Тургайском прогибе. Если принять стандартные размеры сети 500×100 м, то вероятность обнаружения составит 0,88 при расположении профилей вкрест простирания аномалий и 0,85 при случайной их ориентировке.

Параметры сети можно выбрать на основе применения теории статистических решений [4, 25 и др.]. Для каждой модели

ТАБЛИЦА 18

Размеры сетей наблюдений при поисках меднопорфировых месторождений

Вероятность выявления аномалии	Ориентировка профилей	
	вкрест простирания объекта	случайная
0,7	450 × 180 м	400 × 200 м
0,9	400 × 270 м	450 × 280 м

объекта M_i из всего множества моделей объектов $\{M_i\}$ ($i=1, 2, \dots, n$) и для каждого допустимого значения вероятности обнаружения P_h могут быть определены параметры сети K_{ih} и затраты на эту сеть Z_{ih} . Применение каждого метода обеспечивает возможность выявления полезного ископаемого и, следовательно, получение определенного выигрыша K_{ih} в виде разности затрат на применение метода Z_{ih} и возможной стоимости полезного ископаемого, соответствующей данной модели объекта, $C_h(M_i)$. Будем считать, что в районе имеются объекты, соответствующие модели M_i . Тогда можно было бы выбрать плотность наблюдений, обеспечивающую достижение заданной вероятности обнаружения при минимуме затрат $Z_{ih} = \min$ или при максимальном выигрыше P_i . В действительности модель, реализующаяся в условиях района, не известна, а известны лишь вероятности, с которыми модель может соответствовать объекту. В связи с этим сеть K_{ih} , определенная при проектировании, скорее всего не будет оптимальной, затраты на нее не будут минимальны, а выигрыш не будет максимальным. Разность r_{ih} между максимально возможным выигрышем и выигрышем, полученным при применении сети K_{ih} , представляет собой потерю или риск

$$r_{ih} = P_i - P_{ih}. \quad (46)$$

Значение выигрыша (а следовательно, и риск) зависит от стоимости полезного ископаемого. При определении сети в виде плотности наблюдений или затрат на 1 км² стоимость полезного ископаемого может быть определена по формуле

$$C_{п. и} = C_{ед} P(M_i), \quad (47)$$

где $C_{ед}$ — математическое ожидание стоимости запасов полезного ископаемого в недрах на 1 км². Значение $C_{ед}$ может представлять собой предельную стоимость геологоразведочных работ на данной стадии их проведения на единицу площади; $P(M_i)$ — совместная вероятность наличия объектов типа M_i во всем множестве объектов изучаемой площади и принадлежности объектов типа M_i к месторождениям.

Цель выбора сети — уменьшение риска. Если известны лишь вероятности наличия тех или иных моделей среди объектов района, то целью выбора сети является уменьшение математического ожидания риска по всем возможным типам объектов.

Возьмем для примера за модель объекта поисков размеры перспективных участков, вероятности наличия их среди объектов поисков, вероятность соответствия их месторождению и связанные с ними значения эффективной ширины выявления объекта на 1 руб. затрат работ данным методом, определим стоимость опробования, выигрыш и риск в зависимости от значения вероятности обнаружения (все величины близки к данным для гидрогеохимического метода при поисках олова в Сихотэ-Алине). Рассмотрим полученные результаты (табл. 19). Очевидно, что все затраты, которые дают отрицательные выигрыши (т. е. чистые убытки), рассматривать не следует. Из таблицы видно, что наилучшей плотностью наблюдений является соответствующая вероятности 0,9 (затраты 59 руб./км²), поскольку она обеспечивает минимальный риск для большинства возможных объектов поисков. Расчет математического ожидания риска по формуле

$$\bar{R} = \sum_{(i)} P(M_i) r_{ik} \quad (48)$$

и рассмотрение полученных результатов показывают, что общий риск характеризуется следующими цифрами.

Вероятности обнаружения . .	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99
Общий риск по всем моделям	3,32	17,0	36,32	72,0	209,23
Риск без учета убытков . . .	3,30	2,1	0,72	0,00	6,1

Эти данные также показывают преимущество опробования с вероятностью 0,9.

Расчет плотности сети при применении некоторых поисковых методов показал, что иногда допустимо значительное разрежение сетей, рекомендуемых инструкциями [60 и др.]. Эти расчеты были проверены для ряда районов разрежением сетей проведенного опробования. Для одного из районов Дальнего Востока картина, получаемая при таком разрежении, приведена на рис. 11. Анализ полученных результатов показал, что при разрежении исчезают ореолы от мелких проявлений, не имеющих практического интереса. Рекомендуемая инструкциями по геохимическим методам поисков и ряду геофизических методов чрезмерная плотность сети обоснована тем, что сети во многих случаях ориентированы на выявление, хотя бы частичное, рудных тел. Однако для этого нужны сети во много раз более густые. Стремление же к выявлению тел такими методами, как гидрогеохимический или шлиховой, на поисковой стадии вообще не оправдано самой сущностью этих методов. Компенсация ошибки II рода более эффективно достигается тем, что используется не один, а несколько методов (что позволяет одновременно уменьшить и ошибку I рода).

В заключение отметим, что при проведении поисковых работ геохимическими методами за рубежом используются, как правило, значительно менее плотные сети, чем в СССР (при донном опробовании 1 проба на 2—2,5 км² [138, 139, 152 и др.]).

ТАБЛИЦА 19

Характеристики моделей, стоимости работ, выигрыша и риска

Показатели	Размеры объектов, км ²					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Вероятность:						
наличия среди объектов	0,7	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02
соответствия месторождению	0,01	0,1	0,5	0,8	1,0	1,0
совместная $P(M_i)$	0,007	0,01	0,035	0,04	0,03	0,02
Эффективная ширина выявления объекта W	0,013	0,026	0,039	0,052	0,065	0,091
Вероятности обнаружения:						
	Затраты, руб./км ²					
0,6	70	25	23	18	14	12
0,7	92	46	31	23	18	15
0,8	124	62	41	31	25	21
0,9	177	88	59	44	35	30
0,99	355	177	118	89	71	59
	Выигрыши, руб./км ²					
0,6	-49	5	82	102	76	48
0,7	-68	-11	91	117	87	55
0,8	-96	-22	99	129	96	59
0,9	-145	-43	99	136	100	60
0,99	-320	-127	55	109	78	40
	Риск, руб./км ²					
0,6	0	0	17	24	24	12
0,7	19	16	8	19	13	5
0,8	47	27	0	7	5	1
0,9	96	48	0	0	0	0
0,99	271	132	44	27	22	20
	Усредненный риск, руб./км ²					
0,6	0	0	1,2	1,2	0,7	0,2
0,7	13,3	1,6	0,6	1,0	0,4	0,1
0,8	32,9	2,7	0	0,5	0,2	0,02
0,9	67,2	4,8	0	0	0	0
0,99	189,7	13,2	3,1	1,9	0,7	0,4

Информационные модели. Информационные модели используют приведенные выше характеристики и позволяют ввести обобщенные показатели, учитывающие их совместно. Как и ранее, будем обозначать $P_i^{об}$ — вероятность наличия объектов i -го рода в районе, с соблюдением условия $\sum (P_i^{об} + \bar{P}_i^{об}) = 1$, P_{ij} — вероятность обнаружения объекта i -го рода j -м методом и R_{jh} — вероятность того, что выявленный j -м методом k -й признак соответствует объекту i -го рода (эта вероятность есть вероятность R_{ij} для отдельного метода). Применяя теорию вероятностей, получим следующие дополнительные характеристики:

$q_j = \sum_{(i)} (P_i^{об} P_{ij})$ — вероятность, что j -м методом будет выявлен объект i -го рода; $q_{ij} = P_i^{об} P_{ij} / q_j$ — вероятность, что выявлен объект i -го рода.

Тогда эффективность j -го метода может быть оценена по формуле теории информации [136] с точностью до некоторого постоянного множителя

$$E_{mj} = \sum_{(i)} [P_i^{об} P_{ij} \log (q_{ij} / P_i^{об})]. \quad (49)$$

В соответствии с этой оценкой метод будет эффективен ($E_{mj} > 0$) тогда, когда вероятность того, что выявленный объект принадлежит к объектам i -го рода, будет выше вероятности наличия объекта i -го рода в районе ($q_{ij} > P_i^{об}$). Общая эффективность комплекса методов приближенно равна сумме эффективностей отдельных методов ($E_{KM} = \sum_{(j)} E_{mj}$).

Для оценки значения погрешностей метода и отдельных признаков, выделяемых из показаний метода интерпретатором, использующим эти признаки как индикаторы объекта i -го рода, введем следующие дополнительные величины:

вероятность того, что выделенный признак представляет собой k -й признак,

$$t_k = \sum_{(j)} (q_j R_{jh}), \quad (50)$$

вероятность, что i -й объект характеризуется k -м признаком,

$$u_{ik} = \sum_{(j)} (P_{ij} R_{jk}), \quad (51)$$

вероятность того, что объект, выявленный признаком k по j -му методу, есть объект i -го рода,

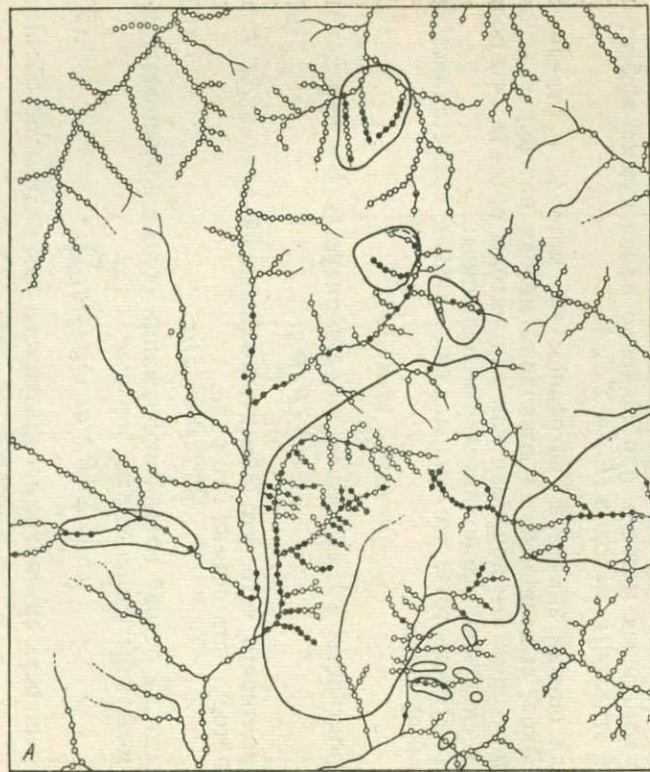
$$v_{ik} = P_i^{об} u_{ik} / t_k. \quad (52)$$

Тогда на основе теории информации общая погрешность метода может быть оценена по формуле

$$O_M = \sum_{(i)} [P_i^{об} q_{ij} \log (1/q_{ij})], \quad (53)$$

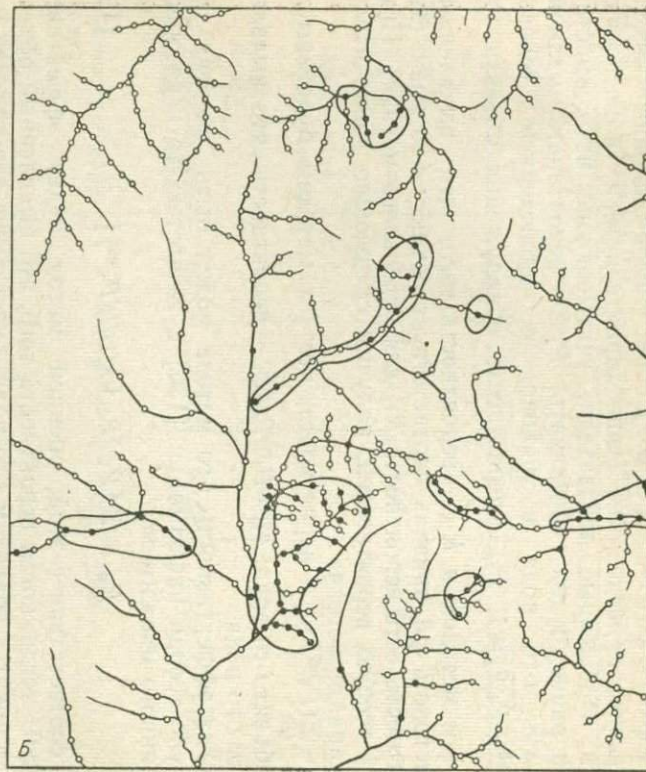
а погрешность признака, используемого как индикатор объекта,

$$O_{II} = \sum_{(j)} [R_{ij} v_{ik} \log (1/v_{ik})]. \quad (54)$$



○ 1 • 2 — 3

0 1 2 км



Б

0 1 2 км

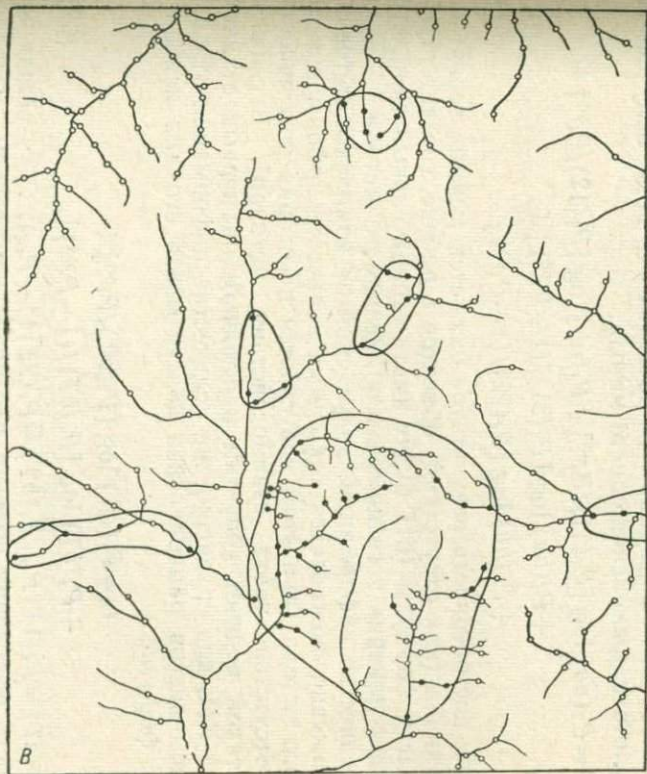


Рис. 11. Разрежение сети шлихового опробования в районе распространения касситерит-сульфидных месторождений.

Сеть: *A* — не разрежена; *B* — разрежена в 2 раза, *B* — разрежена в 3 раза.

1 — пробы, не содержащие полезных компонентов; *2* — пробы с содержанием касситерита 50 знаков на шлих и более; *3* — границы ореолов.

0 1 2 км

Общая погрешность КМ получается суммированием погрешностей отдельных методов (см. табл. 27), а сочетания признаков — погрешностей признаков.

Процесс обнаружения объекта может быть представлен как получение геологом сообщения от природы по каналу связи с шумом (погрешности метода, недостаточное количество усилий и т. п.). Такая модель позволяет оценить количество информации, получаемой от процесса в целом. Обозначим $P_i(a)$ и $P_i(b)$ — полные вероятности получения положительного (a) и отрицательного (b) результатов применения метода по отношению к объектам i -го рода, вычисляемые по системе уравнений

$$P_i^{06} = P_i(11)P_i(a) + P_i(12)P_i(b), \quad (55)$$

$$1 - P_i^{06} = P_i(21)P_i(a) + P_i(22)P_i(b). \quad (56)$$

$P_i(aa)$, $P_i(ab)$, $P_i(ba)$ и $P_i(bb)$ — совместные вероятности наличия (a) или отсутствия (b) объекта i -го рода и получения положительного или отрицательного результата, определяемые по формулам

$$P_i(aa) = P_i(11)P_i(a), \quad (57)$$

$$P_i(ab) = P_i(12)P_i(b), \quad (58)$$

$$P_i(ba) = P_i(21)P_i(a), \quad (59)$$

$$P_i(bb) = P_i(22)P_i(b). \quad (60)$$

Количество информации I об объектах i -го рода, получаемой в результате применения одного метода,

$$I = P_i(aa) \log [P_i(11)/P_i^{06}] + P_i(ab) \log [P_i(12)/P_i^{06}] + \\ + P_i(ba) \log [P_i(21)/(1 - P_i^{06})] + \\ + P_i(bb) \log [P_i(22)/(1 - P_i^{06})]. \quad (61)$$

Если достоверность результатов окажется меньше вероятности наличия (или отсутствия) объектов в районе, соответствующие части формулы (61) будут иметь отрицательный знак, что отражает влияние погрешностей применяемого метода.

Количество информации, получаемой от комплекса методов, приближенно оценивается как сумма количеств информации от каждого метода (при этом допускается некоторая погрешность из-за отсутствия учета взаимодействия методов). В связи с этим такой подсчет допустим в основном на первых стадиях выбора КМ, для сравнения же количества информации от разных комплексов рациональнее подсчитывать его для каждого КМ по формуле

$$I_k = P_i(aT) \log [P_i(aT)/P_i^{06}] + \\ + P_i(bT) \log [P_i(bT)/(1 - P_i^{06})], \quad (62)$$

где $P_i(aT) = P_i(1T)P_{ih}$, $P_i(bT) = P_i(2T)(1 - P_{ih})$, P_{ih} — общая вероятность выявления объекта i -го рода комплексом методов;

$P_i(1T)$ и $P_i(2T)$ — достоверность результатов применения комплекса методов, определенная по формулам (44), (45).

Оценка времени, необходимого для применения метода. Пусть $\{A_j\}$ — набор методов, применение которых целесообразно в изучаемом районе. Для каждого метода A_j определены: t_j — время на проведение работ по действующим нормативам; t_r — время на организацию проверочных работ; t_a — время на проверку правильности результата, полученного методом A_j ; $P_i(11)$ — достоверность правильного результата; t_{ap} — время на повторную проверку или проведение более детальных работ. Тогда общее время на проведение работ [123]

$$H = \frac{t_j + (1 - P_i^{06}) \{ t_r + \sum_{(a)} [t_a + t_{ap} - P_i(11) t_{ap}] + t_j \}}{P_i^{06}} \quad (63)$$

Оценка общих затрат на применение метода или комплекса методов. Определение общих затрат с учетом достоверности получаемых результатов [25, 122, 123 и др.] — существенная часть выбора КМ. Пусть имеется k объектов i -го рода, выявленных методом A_j или комплексом методов $\{A_j\}$. Обозначим f_{11} , f_{22} , f_{12} , f_{21} затраты на проверочные и детализационные работы в каждом из возможных результатов (см. табл. 16) и Z_{0j} — затраты на проведение основных работ методом A_j . Тогда общие затраты на метод A_j составят

$$Z_j = Z_{0j} + \sum_{(i)} [P_i^{06} P_i(11) f_{11} + (1 - P_i^{06}) P_i(22) f_{22} + P_i^{06} P_i(12) f_{12} + (1 - P_i^{06}) P_i(21) f_{21}] \quad (64)$$

и на комплекс методов $\{A_j\}$

$$Z_{KM} = \sum_{(j)} Z_{0j} + \sum_{(i)} [P_i^{06} P_i(1T) f_{11} + (1 - P_i^{06}) P_i(2T) f_{22}]. \quad (65)$$

Для применения при оптимизации КМ эти формулы можно преобразовать на основе формул (40) — (43):

$$Z_j = Z_{0j} + \sum_{(i)} [P_i^{06} P_{ij} f_{11} + (R_{ij} + P_i^{06} R_{ij}) f_{22} + (P_i^{06} - P_i^{06} P_{ij}) f_{12} + f_{21} - (P_i^{06} + R_{ij} - P_i^{06} R_{ij}) f_{21}] \quad (66)$$

или

$$Z_j = Z_{0j} + \sum_{(i)} \{ P_i^{06} P_{ij}(11) f_{11} + [P_{ij}(22) - P_i^{06} P_{ij}(22)] f_{22} + [P_i^{06} - P_i^{06} P_{ij}(11)] f_{12} + f_{21} - [P_i^{06} + P_{ij}(22) - P_i^{06} P_{ij}(22)] f_{21} \}. \quad (67)$$

При составлении геологической карты затраты f_{21} и f_{22} обычно равны нулю: метод применяется по всей площади и его результаты проверяются по сходимости с другими методами без детализационных работ. В этом случае формулы приобретают вид

$$Z_j = Z_{0j} + \sum_{(i)} [P_i^{06} P_{ij} f_{11} + (P_i^{06} - P_i^{06} P_{ij}) f_{12}], \quad (68)$$

$$Z_j = Z_{0j} + \sum_{(i)} \{P_i^{06} P_{ij} (11) f_{11} + [P_i^{06} - P_i^{06} P_{ij} (11)] f_{12}\}. \quad (69)$$

Для комплекса методов преобразованное выражение имеет вид

$$Z_{KM} = \sum_{(j)} Z_{0j} + \sum_{(i)} [P_i^{06} P_i(1T) f_{11}] - \sum_{(i)} \{ [P_i^{06} + P_i(1T) - P_i^{06} P_i(1T)] f_{22} \}. \quad (70)$$

Модели третьего уровня

Общая модель геологоразведочных работ была предложена М. Алле [129] и затем усовершенствовалась рядом исследователей [19, 28, 133, 134 и др]. В излагаемом далее виде она применима в основном к районам распространения рудных месторождений.

Каждая из стадий РГС (табл. 4) имеет определенную вероятность превращения изучаемых перспективных участков в промышленное месторождение p_i . Проведение работ на каждой стадии требует затрат f_i , допустимый предел которых зависит от условий района, степени его освоенности, ожидаемого количества перспективных месторождений и их ценности. Примем, что каждому этапу соответствуют запасы полезного ископаемого (или количество месторождений), пропорциональные доле данной стадии в общей стоимости геологоразведочных работ.

В процессе геологоразведочных работ можно выделить следующие стадии (этапы):

1) среднемасштабные РГС (обычные и групповые геологические съемки масштаба 1 : 200 000, аэрофотогеологические съемки, региональные геофизические и геохимические работы и металлогенические исследования среднего и мелкого масштаба и др.). Цель — выявление перспективных участков и районов и признаков полезных ископаемых и выделение участков для проведения более детальных работ РГС, а иногда и поисково-оценочных и детальных поисковых;

2) крупномасштабные РГС (геологические съемки масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000, глубинное геологическое картирование, изучение ранее заснятых площадей, крупномасштабные геофизические, геохимические и металлогенические работы и т. п.). Цель — выявление проявлений, месторождений и участков для постановки более детальных работ;

3) оценочные работы в процессе РГС на выявленных участках и проявлениях с целью оценки вероятности открытия месторождения и определения его возможных размеров. Оценочные работы могут проводиться и после первого этапа;

4) изучение месторождений и проявлений до передачи их промышленности. Этот этап делится на ряд более мелких, однако его можно рассматривать как единый.

Обозначим:

p_0 — вероятность наличия месторождений полезных ископаемых во всем изучаемом районе;

p_1 — вероятность успеха на первом этапе, т. е. вероятность выявления площадей и проявлений, заслуживающих внимания;

p_2 — вероятность успеха на втором этапе;

p_3 — вероятность успеха на третьем этапе;

p_4 — вероятность успеха на четвертом этапе, т. е. вероятность открытия промышленного месторождения;

$p = p_1 p_2 p_3 p_4$ — общая вероятность успеха;

N_0 , Q_0 и C_0 — вероятное количество соответственно перспективных участков, запасов или стоимости полезных ископаемых, которые могут быть открыты на изучаемой площади;

N_i , Q_i и C_i — вероятные количества месторождений (проявлений), запасов и стоимости полезных ископаемых, которые относятся к i -му этапу работ.

В модели предполагается независимость результатов работ каждой стадии, что оправдано желанием увеличения «запаса прочности» рассматриваемой модели. В действительности вероятность успеха на каждой стадии последовательно возрастает.

В модели используются три группы оценок каждого параметра: наиболее благоприятная (индекс Б), средняя (индекс С) и наименее благоприятная (индекс Н). Крайние пределы параметров должны находиться внутри заданного доверительного интервала. Таким образом, в модели используются следующие группы оценок:

Вероятность успеха

Стоимость геологоразведочных работ

$$P_{1Н} < P_{1С} < P_{1Б}$$

$$f_{1Н} < f_{1С} < f_{1Б}$$

$$P_{2Н} < P_{2С} < P_{2Б}$$

$$f_{2Н} < f_{2С} < f_{2Б}$$

$$P_{3Н} < P_{3С} < P_{3Б}$$

$$f_{3Н} < f_{3С} < f_{3Б}$$

$$P_{4Н} < P_{4С} < P_{4Б}$$

$$f_{4Н} < f_{4С} < f_{4Б}$$

Количество месторождений

$$N_{1H} < N_{1C} < N_{1B}$$

$$N_{2H} < N_{2C} < N_{2B}$$

$$N_{3H} < N_{3C} < N_{3B}$$

$$N_{4H} < N_{4C} < N_{4B}$$

Стоимость полезного ископаемого

$$C_{1H} < C_{1C} < C_{1B}$$

$$C_{2H} < C_{2C} < C_{2B}$$

$$C_{3H} < C_{3C} < C_{3B}$$

$$C_{4H} < C_{4C} < C_{4B}$$

Количество запасов полезного
ископаемого

$$Q_{1H} < Q_{1C} < Q_{1B}$$

$$Q_{2H} < Q_{2C} < Q_{2B}$$

$$Q_{3H} < Q_{3C} < Q_{3B}$$

$$Q_{4H} < Q_{4C} < Q_{4B}$$

Экономическая эффективность
(предполагаемая или заданная)

$$\mathcal{E}_{1H} < \mathcal{E}_{1C} < \mathcal{E}_{1B}$$

$$\mathcal{E}_{2H} < \mathcal{E}_{2C} < \mathcal{E}_{2B}$$

$$\mathcal{E}_{3H} < \mathcal{E}_{3C} < \mathcal{E}_{3B}$$

$$\mathcal{E}_{4H} < \mathcal{E}_{4C} < \mathcal{E}_{4B}$$

Величины N_0 и P_0 могут быть определены различными способами: наиболее простой — на основе изучения сходных районов, более сложные способы основаны на использовании статистических закономерностей распределения месторождений по площади и размерам [19, 63, 108, 133, 134, 143, 156 и др.] или в результате применения методов количественного прогнозирования [13, 28 и др.].

Вероятность p_1 — вероятность наличия месторождения по данным КМ или отдельного метода, т. е. соответствует вероятностям, определяемым по формулам (17) — (20) и (34) — (39). Вероятности p_2 , p_3 и p_4 могут быть определены по опыту геологоразведочных работ.

Простейший способ учета стоимости полезных ископаемых, приходящейся на отдельный этап РГС, — вычисление ее пропорционально затратам на РГС в общей стоимости геологоразведочных работ в данном регионе. Она может быть оценена формулой

$$C_s = \sum_{(i)} [P_{il} Q_{il} C_i D_l], \quad (71)$$

где P_{il} — вероятность открытия месторождения i -го полезного ископаемого на l -м участке; Q_{il} — возможные запасы i -го полезного ископаемого на l -м участке; C_i — стоимость единицы запасов i -го полезного ископаемого; D_l — доля l -го этапа геологоразведочных работ в общей их стоимости в данном районе. P_{il} определяется как вероятность открытия месторождения на данном участке или мера сходства данного участка с эталонными месторождениями. C_{il} может быть определена как ожидаемый размер месторождения. При рассмотрении больших территорий в основу определения ожидаемых размеров могут быть положены сведения о распределении месторождений по размерам. Стоимость единицы полезного ископаемого может быть определена как оптовая цена 1 т разведанных балансовых запасов полезного ископаемого в недрах [2].

Рассмотренная модель при условии учета стоимости освоения района месторождения и стоимости его транспортировки позволяет оценить и рентабельность его освоения. Ж. де Жоффре и Т. К. Вигнолл [133] такую оценку предлагают вести с помощью формулы

$$L = A_0(1 + 0,0056d_1 + 0,0275d_2), \quad (72)$$

где A_0 — средняя цена поисков месторождения; d_1 — расстояние по шоссе от рассматриваемой части до ближайшей железной дороги; d_2 — расстояние от центра ячейки до ближайшего шоссе.

Анализ модели с точки зрения методики РГС показывает, что одной из самых существенных частей процесса является выбор объектов поисково-оценочных работ. При очень строгом отборе объектов (малые значения вероятности p_2) на стадию 3 и, следовательно, на стадию 4 переходят лишь немногие объекты при высокой вероятности обнаружения месторождения. Однако при этом весьма вероятно, что и в отбракованных объектах могут быть месторождения. В этом случае выигрыш состоит в том, что оценка сосредоточивается на небольшом количестве объектов, что позволяет оценить их в течение короткого срока. При высоких значениях вероятностей p_2 на стадию поисково-оценочных работ переходит большое количество участков, значительная часть которых окажется не имеющей практического интереса, но зато будут выявлены и все мелкие месторождения. Принятие того или иного подхода определяется экономическими соображениями и в первую очередь степенью экономической освоенности района. В слабо освоенных районах следует принимать высокие критерии отбора (малые значения вероятности p_2), поскольку там в основном представляют интерес легко выявляемые крупные месторождения. В хорошо освоенных районах более важно выявление всех возможных месторождений, в связи с чем критерии отбора должны быть более слабыми. Кроме этих общих соображений при отборе конкретных объектов для поисково-оценочных работ необходимо учитывать характеристику каждого объекта и, в частности, меру его сходства с месторождениями того или иного типа. В простейшем случае для этого можно использовать оценки достоверности.

Геологическая эффективность РГС может пониматься как получение положительного результата в решении поставленной задачи. Если такой задачей является обнаружение полезных ископаемых, эффективность в какой-то мере может быть обеспечена проведением работ на площади, размер которой обеспечивает математическое ожидание наличия на ней месторождения.

Распределение месторождений по площади подчиняется распределению Пуассона (или близкими к нему видами распределений [63, 155 и др.]), поэтому приближенно размер площади,

для которой обеспечивается математическое ожидание наличия месторождения, может оцениваться формулой

$$\bar{S} = 1/\bar{k}, \quad (73)$$

где \bar{k} — плотность месторождений на единицу площади. При этом размер площади зависит от постановки задачи. Для двух случаев постановки задачи (обнаружение мелкого или среднего месторождения) размеры площадей приведены в табл. 20.

ТАБЛИЦА 20

Размеры площадей РГС, км², в зависимости от задачи поисков

Перспективность района	Обнаружение среднего месторождения		Обнаружение мелкого месторождения	
	Среднее	Пределы	Среднее	Пределы
Средняя	19 000	2000—150 000	3300	2400—5100
Высокая	3 750	2100—8800	1200	700—2900
Очень высокая	—	—	250	170—500

Средние сроки обновления материалов РГС. В исследованиях по геологической информатике рассматриваются сроки старения либо всей геологической литературы, либо литературы по отдельным направлениям, но нигде не рассмотрены вопросы старения и обновления геологических карт. Вопрос о сроках обновления материалов РГС имеет важное значение для планирования и определения задач РГС в конкретных районах, поскольку в ряде случаев (особенно в отдаленных и мало освоенных районах) имеет смысл при первичном изучении ограничивать объемы работ решением лишь первостепенных задач, рассчитывая на последующее уточнение и детализацию при дополнительных работах. Подобное рассуждение имеет и экономический смысл, поскольку значительные средства, вложенные в детальное изучение новых районов, могут оказаться обесцененными, если полученные материалы не будут использованы в пределах срока обновления РГС. В связи с этим было предпринято изучение сроков обновления материалов РГС и представления геологических карт ряда европейских стран, проводящих геологические съемки на всей территории в течение значительного промежутка времени (Великобритания — с 1834 г., Франция — с 1873 г., Италия — с 1900 г.).

Обновление материалов РГС в этих странах фиксируется в виде последовательных изданий геологических карт (Франция, Италия) или указаний об их ревизии (Великобритания). В табл. 21, 22 приводятся сведения о сроках обновления геоло-

ТАБЛИЦА 21

Интервалы обновления геологических карт масштаба 1 : 63 360
Англии и Уэльса

Характеристика интервала	Объем выборки		Продолжительность интервала, лет	
	Кол-во листов	Процент к числу всех листов	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
„Старая серия“	164	62,6		
Интервал между 1-м изданием и ревизией	123	46,9 (75*)	11,5	9,7
Интервал между 1-м изданием и изданием в „Новой серии“ для листов, не прошедших ревизии	41	15,6	55,7	10,2
Общий срок	164	62,6	22,7	21,4
Интервал между ревизией „Старой серии“ и изданием в „Новой серии“	164	62,6	55,2	18,2

* Процент к числу листов в выборке.

ТАБЛИЦА 22

Интервалы обновления геологических карт Франции и Италии

Страна и масштаб	Характеристика интервала	Объем выборки		Продолжительность интервала, лет	
		Кол-во листов	Процент к общему числу листов	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение
Франция, 1 : 80 000	Между 1-м (1873—1911 гг.) и 2-м (1885—1968 гг.) изданиями	164	61,4	53,3	15,0
	Между 2 и 3-м изданиями (1924—1968 гг.)	92	34,5	28,0	10,5
Италия, 1 : 100 000	Первая группа карт: 1-е издание (1900—1915 гг.), 2-е издание (1951—1960 гг.)	18	43,9	59,7	3,9
	Вторая группа карт: 1-е издание (1920—1935 гг.), 2-е издание (1951—1960 гг.)	23	56,1	33,8	3,0

гических карт этих стран, полученные в результате изучения библиографических материалов [150 и др.] и коллекции геологических карт Всесоюзной геологической библиотеки.

В Великобритании геологические карты ревизовались неоднократно: двукратную ревизию между изданиями прошли 23 листа (8,8% от общего числа и 14% от выборки) со средним сроком между ревизиями 13,6 года и трехкратную 5 листов (соответственно 1,9 и 3,1%) со средним сроком между второй и третьей ревизиями 14,6 года. В Уэльсе геологические карты переиздавались 6 раз со средним промежутком в XIX в. 37 лет и в XX — 11 лет.

Материалы по геологическим картам Великобритании показывают, что почти в половине случаев первичная геологическая съемка требует обновления через 11—22 года. Следовательно, средний срок обновления первичных геологических карт крупного масштаба в интенсивно осваиваемых районах ~ 15 лет, а в районах менее интенсивно осваиваемых — 25—30.

Продолжительность интервалов обновления во многом определяется отношением к материалам предшественников. Сравнение листов геологических карт Англии и Франции, за последние 70—100 лет обновленных по 3—7 раз, показывает, что за это время не происходило резкого изменения контуров геологических тел и последовательности в их легенде. Обновленные карты характеризуются увеличением дробности стратиграфического деления, увеличением количества изображенных литостратиграфических подразделений и мелких геологических тел (в том числе и тел полезных ископаемых) и соответственно увеличением количества мелких складок и разрывов. Подобное отношение к материалам предшественников обеспечивает длительную «жизнь» геологических карт и постепенное накопление данных по геологии района, не прерываемое «революционными» изменениями.

Срок обновления материалов РГС уменьшается по мере приближения к современности в связи с ускорением геологоразведочного производства вообще и ускорением накопления информации новыми методами. Это явление может рассматриваться как одно из следствий современной научно-технической революции и должно учитываться при определении тенденции развития РГС в будущем.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Выбор комплекса методов требует характеристики возможностей отдельных методов и результатов применения их комплекса, т. е. оценки результатов РГС в целом. Рассмотрению вопросов, связанных с такой оценкой, и посвящена настоящая глава.

Количественная характеристика возможностей отдельных методов

Простейшей характеристикой являются значения ошибок I и II рода (вероятности пропустить объект и выявить ложный объект). Возможности и направление использования этих характеристик очевидны из их сущности.

Для условий Сихотэ-Алиня по малому значению ошибки II рода при поисках олова (см. табл. 7) визуальные, литогеохимические и гидрогеохимические методы и шлиховое опробование примерно равноценны. Однако по ошибке I рода видны преимущества литогеохимических поисков и шлихового опробования.

Для условий Киргизии (см. табл. 13) литогеохимические поиски явно предпочтительнее шлихового опробования при поисках свинца и столь же явно проигрывают по отношению к золоту по значению ошибки II рода. Ошибка I рода для обоих методов примерно одинакова. Возможность характеристики отдельных методов с помощью этих показателей при геологической съемке хорошо видна из табл. 23, 24.

Минимальные и средние эффективная ширина выявления, вероятность и достоверность выявления объектов представляют собой характеристики, учитывающие ошибку II рода, кратность выявления объекта и количество затраченных усилий. Рассмотрим возможность их применения на примерах поисков в Сихотэ-Алине и Киргизии (табл. 25, 26).

В Сихотэ-Алине при поисках олова по эффективной ширине поиска выгодно выделяются гидрогеохимические и шлиховые методы, по вероятности же обнаружения наравне с ними оказываются визуальные и литогеохимические. Дальнейшее сравнение методов может быть проведено по достоверности выявления (табл. 25), из которой очевидна малая достоверность

ТАБЛИЦА 23

Значения ошибок некоторых методов геологической съемки в Сихотэ-Алине

Методы	Геологические тела						Разрывы	
	осадочные		вулканиты		интрузии		I	II
	I	II	I	II	I	II		
Геологические наблюдения	0,40	0,24	0,43	0,35	0,10	0,16	0,47	0,55
Аэрофотоматериалы	0,36	0,56	0,21	0,32	0,20	0,25	0,15	0,10
Аэромагниторазведка	0,69	0,77	0,53	0,44	0,37	0,23	0,13	0,63
Наземная магниторазведка	0,75	0,71	0,38	0,17	0,41	0,18	0,05	0,38
Дипольное профилирование	0,25	0,53	Нет данных				0,07	0,42
Естественное поле (ЕП)	0,73	0,78	0,56	0,75	Нет данных		0,09	0,38

Примечание. I, II — род ошибки.

ТАБЛИЦА 24

Значения ошибок некоторых методов глубинного геологического картирования на Украине, по материалам А. А. Зайцева и др. (1969 г.)

Геологическое тело	Магнито-разведка		Гравираз-ведка		Аэрофото-материалы	
	I	II	I	II	I	II
Ультрабазиты, пироксениты, серпентиниты	0,05	0,29	0,03	0,46	1,00	1,00
Диабазы	0,13	0,73	0,25	0,84	0,98	0,97
Амфиболиты	0,17	0,55	0,17	0,07	0,97	0,99
Диориты	0,53	0,78	0,43	0,60	0,98	1,00
Граниты	0,77	0,85	0,64	0,89	1,00	1,00
Плагнограниты	0,79	0,89	0,67	0,95	1,00	1,00
Гнейсы верхов конско-верховской свиты	0,93	0,14	0,87	0,96	0,98	0,99
Гнейсы низов той же свиты	0,43	0,18	0,32	0,38	1,00	0,98
Гнейсы днепровской свиты	0,23	0,85	0,27	0,10	1,00	1,00
Железистые кварциты	0,05	0,01	0,31	0,87	1,00	1,00
Разрывы	0,33	0,21	0,26	0,50	0,75	0,51

Примечание. I, II — род ошибки.

положительного результата визуальных поисков. Это связано с тем, что в рассматриваемом районе суждение о перспективности участка обычно опирается на наличие измененных пород (см. табл. 7), связь которых с месторождениями олова вероятна, но не обязательна. Высокая достоверность результатов шлихового опробования, гидрогеохимических поисков по высокому содержанию суммы тяжелых металлов и литогеохимических поисков хорошо согласуется с геологической сущностью этих методов. В Киргизии шлиховое и литогеохимическое опробование примерно равноценно по отношению к комплексу полезных ископаемых.

Эффективная ширина поиска олова и вероятность обнаружения перспективных на олово участков в Сихотэ-Алине

Методы	Плотность наблюдений на 1 км ²	Поиски участков среднего размера		Поиски участков минимального размера	
		Эффективная ширина поиска \bar{W}_{ij}	Вероятность обнаружения $\bar{P}_{ij}(x)$	Эффективная ширина поиска W_{ij}^{\min}	Вероятность обнаружения $P_{ij}^{\min}(x)$
Визуальный	2,4 км	1,01	0,91	0,09	0,20
Магниторазведка	2,0 км	0,57	0,74	0,05	0,13
Электроразведка методом ЕП:					
по изолинии 25 мВ	2,0 км	0,13	0,26	0,02	0,06
по изолинии 50 мВ	2,0 км	0,06	0,13	0,01	0,003
Литогеохимический:					
по олову	40 проб	0,57	1,00	0,02	0,53
по свинцу	40 проб	0,88	1,00	0,04	0,78
Гидрогеохимический:					
по сульфат-иону, мг/л					
2—6	5 проб	1,33	0,99	0,08	0,35
более 6	5 проб	0,03	0,13	0,01	0,04
по сумме металлов, мкг/л					
1—3	5 проб	1,83	0,99	0,08	0,35
более 3	5 проб	0,70	0,97	0,15	0,54
Шлиховой	5 проб	2,15	1,00	0,27	0,75

Информационные характеристики позволяют обобщить все перечисленное ранее. Для методов поисков олова в Сихотэ-Алине они приведены в табл. 27, откуда, как и прежде, видна примерная равноценность гидрогеохимического, литогеохимического и шлихового методов при значительном их преимуществе перед остальными.

Оценка надежности результатов РГС

При оценке надежности результатов необходимо учитывать характер данных, получаемых при применении метода, и их связь с геологическими объектами. Все данные можно разделить на количественные и качественные. По степени связи с геологическими объектами различаются результаты: 1) наблюдения геологических объектов; 2) наблюдения явлений, лишь косвенно связанных с геологическими объектами; 3) интерпретации данных первых двух категорий. Достоверность данных для этих трех категорий последовательно снижается. Оценка надежности должна быть отдельной для сведений первых двух видов, так

ТАБЛИЦА 26

Выявление проявлений олова различными методами

Методы	Достоверность наличия участка		Достоверность отсутствия участка	
	при положительном результате	при отрицательном результате	при положительном результате	при отрицательном результате
Визуальный	0,27	0,01	0,72	0,99
Электроразведка методом ЕП при выделении участка:				
по изолинии 25 мв	0,08	0,08	0,91	0,92
по изолинии 50 мв	0,04	0,09	0,95	0,90
Литогеохимический при выделении участка:				
по олову	0,34	0,00	0,66	1,00
по свинцу	0,31	0,00	0,68	1,00
Гидрогеохимический при выделении участка по содержанию:				
сульфат-иона				
2—6 мг/л	0,19	0,14	0,80	0,85
более 6	0,02	0,00	0,97	1,00
сумме металлов				
1—3 мкг/л	0,23	0,00	0,76	0,99
более 3	1,00	0,00	0,00	1,00
Шлиховой	0,50	0,00	0,49	1,00

ТАБЛИЦА 27

Количество информации для различных методов поисков полезных ископаемых в Сихотэ-Алине, бит

Методы	Полезные ископаемые			Всего
	Олово	Свинец	Ртуть	
Визуальный	0,12	0,15	0,14	0,41
Магниторазведка	0,01	0,03	0,03	0,07
Метод ЕП по изолинии 25 мв	0,01	0,07	0,01	0,09
Литогеохимический:				
по олову	0,18	0,17	0,00	0,35
по свинцу	0,17	0,35	0,00	0,52
по ртути	0,00	0,00	0,32	0,32
Гидрогеохимический:				
по сульфат-иону с содержанием более 6 мг/л	0,03	0,24	0,03	0,30
по сумме тяжелых металлов с содержанием более 3 мкг/л	0,13	0,39	0,02	0,54
Шлиховой	0,24	0,15	0,66	1,05

Примечание. Все данные для поисков в масштабе 1 : 50 000.

как они определяют надежность исходных данных, и сведений третьего вида, определяющих достоверность окончательных материалов.

Можно предложить следующие *оценки надежности*.

Первый уровень организации работ. Оценки определяются для каждого исполнителя раздельно или для партии в среднем:

- 1) ошибки I и II рода;
- 2) средняя точность нанесения точек наблюдения на карту (см. настоящую главу).

Второй уровень организации работ:

- 1) полнота изучения района — средняя вероятность выявления геологических тел;
- 2) опискованность района — средняя вероятность выявления главных для данного района полезных ископаемых;
- 3) средняя достоверность выявления геологических тел и перспективных участков (раздельно);
- 4) прослеженность геологических тел;
- 5) средняя точность нанесения контуров на геологическую карту и карту полезных ископаемых (см. следующий раздел).

Показатели надежности работ первого уровня входят составной частью в оценки второго уровня. В связи с этим они далее отдельно не разбираются.

Для оценки полноты изучения и опискованности района и достоверности выявления необходимо после окончания работ вычислить их для реальных геологических тел и перспективных участков, выявленных при РГС, как оценку степени опискованности и изученности района. Дальнейшая оценка результатов будет зависеть от требований, предъявленных к работам.

Покажем это на примере поисковых работ на олово в Сихотэ-Алине. Данные табл. 28 показывают, что при одинарной плотности наблюдений район может считаться опискованным только в отношении выходящих на поверхность месторождений (перспективные участки среднего размера), чего нельзя сказать в отношении признаков слепого оруденения в виде рудопроявлений и точек минерализации (перспективные участки минимального размера). В табл. 29 показано влияние комплекса методов на степень опискованности: применение комплекса методов повышает степень опискованности в отношении рудопроявлений, но в разных сочетаниях методов степень повышения оказывается существенно различной и в целом для хорошо изученных районов недостаточной. При применении комплекса методов повышается достоверность опискования (табл. 30).

Рассмотрим оценку опискования на основе описанных в гл. II моделей железорудного и меднопорфирового месторождений [29]. Вероятность выявления железорудного месторождения с описанными характеристиками определяется тем, что оно дает магнитную аномалию площадью не менее 800×60 м, если находится под покровом мощностью 30 м. Опискованность — вероятность выявления объекта при сети магниторазведочных

Оценка степени опойскованности района в отношении олова, свинца и ртути отдельными методами в Сихотэ-Алине

Методы	Кратность подсечения	Однарная плотность наблюдений	Вероятность обнаружения при плотности наблюдений					
			однарной	двойной	однарной	двойной	однарной	двойной
			Олово		Свинец		Ртуть	
Поиски участков среднего размера								
Визуальный	3	2,4 км	0,91	1,00	0,92	0,99	0,00	0,01
Магниторазведка	3	2,4 км	0,75	0,93	0,75	0,93	0,18	0,34
Электроразведка методом ЕП	3	2,4 км	0,28	0,47	0,28	0,47	0,00	0,00
Литогеохимический:								
по олову	10	30 проб	0,99	1,00	0,99	1,00	0,00	0,00
по свинцу	10	30 проб	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
по ртути	10	30 проб	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
Гидрогеохимический:								
по сульфат-иону	5	5 проб	0,98	1,00	0,98	1,00	0,98	1,00
по сумме металлов	5	5 проб	0,99	1,00	0,99	1,00	0,17	0,30
Шлиховой	5	5 проб	0,99	1,00	0,28	0,48	0,99	1,00

Поиски участков минимального размера

Визуальный	3	2,4 км	0,19	0,43	0,20	0,36	0,12	0,22
Магниторазведка	3	2,4 км	0,13	0,25	0,13	0,24	0,06	0,12
Электроразведка методом ЕП	3	2,4 км	0,05	0,12	0,08	0,16	0,00	0,00
Литогеохимический:								
по олову	10	30 проб	0,13	0,26	0,13	0,32	0,00	0,00
по свинцу	10	30 проб	0,30	0,50	0,30	0,52	0,00	0,00
по ртути	10	30 проб	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	1,00
Гидрогеохимический:								
по сульфат-иону	5	5 проб	0,23	0,42	0,24	0,42	0,02	0,06
по сумме металлов	5	5 проб	0,24	0,42	0,25	0,45	0,12	0,21
Шлиховой	5	5 проб	0,19	0,61	0,06	0,13	0,97	1,00

наблюдений 500×100 м, рассчитанная по [103], приведена в табл. 31. Природа всех выявленных на опытном участке аномалий проверена бурением, однако рудопроявлений не установлено. Это позволяет считать, что полученная оценка близка к действительности и что опойскованность района в отношении железорудных месторождений составляет примерно 75—85%.

Вероятности обнаружения аномалий, соответствующих модели меднопорфирового месторождения, приведены в табл. 32. Из таблицы видно, что эти аномалии методом ВП в описанном районе выделяются ненадежно и вероятность их пропуска при сети 500×100 м близка к 0,5.

ТАБЛИЦА 29

Вероятность обнаружения перспективных на олово участков различными комплексами методов

Методы	Вероятность обнаружения участков	
	среднего размера	минимального размера
Гидрогеохимические и магниторазведка	1,00	0,50
Гидрогеохимические и электроразведка	1,00	0,45
Литогеохимические и магниторазведка	1,00	0,43
Литогеохимические и шлиховые	1,00	0,51
Шлиховые и гидрогеохимические	1,00	0,61
Шлиховые, литогеохимические и гидрогеохимические	1,00	0,75
Шлиховые, гидрогеохимические и литогеохимические, магниторазведка	1,00	0,76
Шлиховые, гидрогеохимические и литогеохимические, магниторазведка и электроразведка ЕП	1,00	0,80

ТАБЛИЦА 30

Достоверность различных сочетаний результатов при поисках оловянных месторождений в Сихотэ-Алине

Методы	Сочетания результатов и их достоверность								
	0	2	0	1	2	1	2	2	1
Магниторазведка	0	2	0	1	2	1	2	2	1
Метод ЕП по показанию:									
25 мв	0	2	0	1	2	0	2	2	1
50 мв	0	2	0	1	1	1	2	1	1
Литогеохимический:									
по олову	0	0	1	1	1	2	1	1	2
по свинцу	0	0	2	1	1	2	1	2	2
Гидрогеохимический									
по сульфат-иону:									
менее 6 мг/л	2	1	0	1	1	0	0	0	2
более 6 мг/л	1	1	0	2	1	0	0	0	1
по сумме тяжелых металлов									
более 3 мкг/л	2	1	0	2	2	0	0	0	2
Шлиховой	1	1	0	2	2	0	0	0	2
Достоверность по всем данным:									
отсутствия месторождений	0,91	0,99	0,69	0,01	0,01	0,12	0,99	0,99	0,01
наличия месторождений	0,09	0,01	0,31	0,99	0,99	0,88	0,01	0,01	0,99

Примечание. 1 — отрицательный результат, 2 — положительный результат, 0 — метод не применялся.

ТАБЛИЦА 31

Вероятность обнаружения магнитной аномалии

Вероятность	Ориентировка профилей	
	вкост простираения объекта	произвольная
Выявления аномалии:		
одной точкой	0,67	0,51
двумя точками	0,21	0,19
тремя точками	0,04	0,02
двумя профилями	0,21	0,09
Пропуска аномалии	0,12	0,25

ТАБЛИЦА 32

Вероятность обнаружения аномалии
методом вызванной поляризации

Вероятность	Ориентировка профилей	
	вкост простираения объекта	произвольная
Выявления аномалии		
двумя и более точками	0,48	0,42
тремя и более точками	0,36	0,31
Пропуска аномалии	0,51	0,57

ТАБЛИЦА 33

Прослеженность геологических границ
(съёмка масштаба 1 : 50 000)

Регион	Тип района (см. с. 110)	Прослеженность границ			
		стратиграфи- ческих	интрузивных	тектониче- ских	общая
Сихотэ- Алинь	С	0,64	0,70	0,29	0,59
	Пв	0,19	0,69	0,58	0,35
	С	0,51	0,48	0,55	0,52
	С	0,30	0,83	0,58	0,44
	По, Пв, С	0,20	0,26	0,54	0,35
Киргизия	С	0,82	1,00	0,57	0,70
	С	0,83	0,90	0,81	0,84
	С	0,93	0,81	0,95	0,92
	С	0,91	0,89	0,86	0,86
	С	0,99	0,93	0,56	0,66

Прослеженность геологических границ может быть оценена для отдельных методов и для карты в целом. В табл. 33, 34 приведены некоторые данные о прослеженности границ для ряда районов СССР. Значение их для оценки качества геологических карт очевидно.

ТАБЛИЦА 34

Прослеженность геологических границ при глубинном геологическом картировании на Украине

Геологические границы				Тектонические разрывы			
Общая	Магнито-разведка	Грави-разведка	Аэро-фотометод	Общая	Магнито-разведка	Грави-разведка	Аэро-фотометод
0,91	0,10	0,64	0,00	0,60	0,30	0,11	0,45
0,21	0,28	0,29	0,07	0,12	0,26	0,33	0,21
0,51	0,26	0,56	Не прим.	0,23	0,18	0,44	Не прим.
0,55	0,45	0,68	То же	0,14	0,10	0,64	То же
0,43	0,10	0,89	"	0,44	0,01	0,33	"

Погрешности привязки наблюдений и нанесения контуров на карты

Погрешность определения положения границы (оценка первого уровня организации) разделяется на маршрутную M_m — погрешность установления геологической границы на местности и графическую M_r — погрешность привязки наблюдений и нанесения границ на карту.

Маршрутная погрешность M_m для собственно геологических наблюдений характеризуется погрешностью установления границы на местности (табл. 35). При геологосъемочных работах масштаба 1 : 50 000 минимальная погрешность определена [95] как ± 100 м, или 2 мм в масштабе карты. В хорошо обнаженных районах и при дешифрировании аэрофотоснимков при четких границах действительная погрешность значительно меньше (для аэрофотоснимков $\pm 0,1$ мм), а для границ с постепенным переходом она равна половине ширины зоны перехода.

Для геофизических методов погрешность установления границы определяется погрешностями интерпретации материалов. В открытых районах с четкими границами в геофизических полях она равна половине расстояния между точками наблюдений. В закрытых районах и при применении аэрометодов погрешность зависит от мощности покрова (высоты полета) h , если различие физических свойств обеспечивает достаточную для выявления тел разницу в амплитуде аномалий, а густота наблюдений такова, что позволяет легко находить на графике поля положение характерных точек. Горизонтальная мощность и положение границ крутопадающих тел пластового типа мощностью $2b$ устанавливаются по данным гравиразведки при использова-

Районы	Погрешность, мм				M_{Γ}	Общая точность M , мм
	M_M					
	m_A	m_B	m_B	общая		
Киргизия	0,1	1,39	0,65	0,75	1,71	1,71
	0,1	0,1	0,1	0,75	0,76	0,76
	0,42	0,12	0,91	0,75	1,18	1,25
Карпаты	0,30	0,15	1,00	0,75	1,26	1,30
	0,75	0,11	0,84	0,75	1,13	1,35
	1,78	1,39	0,79	0,75	1,77	2,51
Сихотэ-Алинь	1,87	1,56	0,85	0,75	1,87	2,10
	1,86	1,95	0,91	0,75	2,26	2,93

Примечание. Сведения для Киргизии и Сихотэ-Алиня усреднены для разных районов, для Карпат — по отдельным листам.

нии точек перегибов графиков Δg , ΔZ , ΔT , W_{zz} , экстремумов W_{xz} и Z_x и точек пересечения оси абсцисс графиками W_{zzz} с погрешностью $M_M \leq (0,1 \div 0,2)h$ [45 и др.]. При пологом залегании или косом намагничении погрешность определения возрастает, но, по данным М. Н. Столпнера, в самых неблагоприятных условиях при непрерывных наблюдениях не превышает мощности покрова ($M_M \leq h$), а при дискретных наблюдениях зависит еще и от шага наблюдений k ($M_M \leq h + 1/2k$). Е. С. Гольденберг [38] для Казахстана, В. Ю. Коваленко [66] для Украины и другие оценивают фактическую величину M_M примерно в 100 м при мощности покрова до 100 м, что подтверждает приведенные соображения. Для сейсморазведки, по данным В. И. Лук-Зильбермана (1972 г.), погрешность определения глубины фундамента при покрове до 400 м равна ± 15 м, а погрешность установления границ комплексов $\pm 80 \div 150$ м. Маршрутная погрешность устанавливается в основном опытным путем после проведения работ.

Графическая погрешность M_{Γ} может быть оценена по формуле, предложенной М. И. Вольпертом и М. М. Прокофьевым (1965 г.),

$$M_{\Gamma} = \pm \sqrt{m_A^2 + m_B^2 + m_B^2}, \quad (74)$$

где m_A — расхождение между расстоянием от начала маршрута до характерного элемента рельефа, нанесенного на карте, определенное по разнице между расстоянием в записи и на карте; $m_B^2 = 0,25l^2 + 22n - 6$, где l — протяженность маршрута от начала или точки привязки к характерному элементу рельефа до границы; n — количество точек на этом промежутке; m_B — погрешность топографической основы, равная для масштаба 1 : 50 000 в горах $\pm 0,75$, на равнине $\pm 0,5$ мм. Для работ, проводимых с топографической привязкой, m_A определяется как средняя

квадратическая погрешность привязки, а m_B сводится к погрешности нанесения точки на карту, равной в большинстве случаев $\pm 0,1$ мм.

При использовании аэрофотоматериалов M_T — точность (погрешность) переноса границ с аэрофотоснимка на карту. При визуальном переносе она достигает 4—6, в благоприятных условиях 2—3 мм. Средняя квадратическая погрешность при пантографировании прибором МПК-500 $M_T = \pm 1 \div 2$ мм, ПУШ = 600 $\pm \pm 1,5 \div 2,5$ мм, топографическим проектором УТП-1 или камерой «Клара» $\pm 0,4 \div 0,8$ мм [40].

Погрешность нанесения контура на карту (оценка второго уровня организации)

$$M = \pm \sqrt{M_M^2 + M_T^2}. \quad (75)$$

Некоторые сведения о величине M приведены в табл. 35.

Оценка содержания результатов РГС

Содержание результатов РГС в настоящее время оценивается в виде рецензирования отчетных материалов двумя или тремя экспертами и рассмотрения на научно-техническом совете организации. Такой способ не обеспечивает должного определения качества результатов, в связи с чем необходимо применение современных способов экспертных оценок. В настоящее время наиболее разработана и апробирована система, предложенная Л. Г. Щербаченко [126].

Система направлена на проверку качества выполнения геологического задания в ходе проведения РГС. Из табл. 36 видно изменение веса показателей в зависимости от вида работ (например, увеличение важности освоения материалов предшественников при доизучении ранее заснятых районов осознается очень отчетливо). Красноярское геологическое управление [49] предложило систему из шести показателей:

	Баллы
Регулярность выполнения заданий по этапам	18—72
Целесообразность выполненных объемов и методики работ и обработки материалов	24—96
Качество составления и оформления карт	8—36
Содержание и обоснованность карт и выводов работы в том числе изучение поисковых критериев	45—180 27—105
Степень соответствия представлений авторов современному уровню геологических знаний	34—144
Практическая и научная ценность работы (поисковая эффективность, геологическая новизна, применение новой методики и техники и т. п.)	54—216 27—116

Система оценок, разработанная НПО Севморгео [49], включает следующие показатели: качество и обоснованность геологической карты, геологическую новизну, поисковую эффективность, дефицитность выявленных полезных ископаемых, экономическую эффективность.

ТАБЛИЦА 36

Значимость различных показателей качества выполнения геологических заданий при различных видах геологосъемочных работ

Показатели	Масштаб 1 : 50 000		Масштаб 1 : 200 000	
	Первичная съемка	Доизучение	Первичная съемка	Доизучение
Использование материалов предшествующих работ	3,5	6	3	5,5
Качество:				
полевых материалов и полевой обработки	8	6	7,5	5,5
окончательной обработки материалов	8	8	7,5	7,5
поисковых работ и изучения закономерностей размещения полезных ископаемых	8	8	6	6
составления отчета	2,5	2,5	4,5	4,5
оформления графических материалов	2,5	2,5	3	3
Соотношение плановой и фактической себестоимости работ	1	1	1,5	1,5

Для перечисленных систем характерны следующие общие недостатки:

1) преобладание показателей текущего планирования, управления работами и экономического стимулирования партии — экономическая эффективность работ, степень новизны или соответствия представлений авторов имеющимся данным о районе, изучение материалов предшественников и т. п.;

2) смешение оценок различных уровней: включение в оценку партии (II уровень) оценки полевых материалов (в основном I уровень), показателей конъюнктурности полезных ископаемых для всего хозяйства СССР, степени освоенности территории и др., задаваемых для партии сверху (с III уровня организации) и не зависящих от исполнителей работ и т. п.;

3) включение показателей, необязательных при рядовых работах (разработка новых методик и технических средств, разработка теоретических вопросов геологии и т. п.);

4) введение показателей, ориентирующих исполнителя на обязательное обновление данных по геологии (выделение новых свит, комплексов и т. п.), что может приводить к необоснованному обновлению;

5) неопределенность нижней границы допустимых отклонений — во всех имеющихся сейчас инструктивных материалах такая граница не указана.

Оценка эффективности РГС

Оценка эффективности включает определение натуральных и экономических показателей.

Натуральные показатели представляют собой различные модификации коэффициента признания и определяются на II уровне как отношение числа рекомендаций, принятых для дальнейших работ, к общему числу рекомендаций и на III уровне как отношение промышленных месторождений к общему числу проверенных рекомендаций. По ряду зарубежных [128, 134 и др.] и советских [19, 49 и др.] данных натуральный показатель III уровня для рудных месторождений 0,01—0,05, для нерудных 0,2—0,5.

Экономический показатель эффективности различен для разных уровней:

II уровень — соотношение стоимости проведенных работ и их сметной или плановой стоимости. Эта оценка характеризует рациональность использования средств и является одной из важных характеристик организации РГС. Способы и результаты такой оценки описаны в ряде работ [48, 89, 93, 120 и др.];

III уровень — соотношение стоимости проведенных работ и экономического эффекта использования их результатов в виде стоимостной отдачи затрат [71], который для РГС будет иметь вид

$$COЗ_{РГС} = \left[\sum_{(i,k)} (P_{ik} Q_{ik} C_i T_p) \right] / Z_{РГС}, \quad (76)$$

где P_{ik} — вероятность выявления месторождения i -го полезного ископаемого на k -м перспективном участке; Q_{ik} — ожидаемые запасы i -го полезного ископаемого на k -м участке; C_i — стоимость 1 т запасов полезного ископаемого или нормативная стоимость 1 т запасов в недрах, руб./т; T_p — доля стоимости региональных работ в стоимости всех геологоразведочных работ в изучаемом регионе; $Z_{РГС}$ — затраты на РГС. Показатель C_i может быть определен и как оптовая цена 1 т разведанных запасов в недрах [2].

Предложенная формула может служить для оценки экономической эффективности РГС и на II уровне, однако в этом случае в $Z_{РГС}$ следует учитывать только затраты на проведение работ на участках, давших положительные результаты и рекомендованных для продолжения работ. Это необходимо для того, чтобы избежать завышения оценки неперспективных или мало-перспективных участков со стороны исполнителей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ

Определение комплекса методов (КМ) — вторая часть проблемы его выбора. Определение КМ основано на использовании характеристик методов: а) применимости метода в условиях района для решения задач РГС, б) качества информации, в) скорости и г) стоимости получения результатов.

Характеристики методов

Применимость и возможности отдельных методов могут быть охарактеризованы качественно и количественно. Качественная характеристика позволяет быстро отобрать методы, применимые для решения той или иной задачи или для изучения тех или иных типов геологических тел и тектонических структур, и делает более рациональным использование количественных характеристик. Использование качественных характеристик неизбежно при отсутствии данных для определения количественных.

Количественные характеристики (см. гл. III): а) ошибки I и II рода; б) эффективная ширина обнаружения, вероятность и достоверность выявления объекта; в) информационные меры — эффективность метода, погрешности метода и интерпретатора, количество информации; г) точность нанесения данных на карту. Качественная характеристика общих возможностей отдельных методов и групп методов при геологической съемке и поисках полезных ископаемых, составленная на основе литературных данных об опыте применения методов в различных районах СССР, приведена в табл. 37. Применимость ряда методов зависит от условий проведения работ, и в первую очередь от глубины залегания объектов работ и степени доступности их непосредственному наблюдению (т. е. от типа района по ярусности — табл. 38).

Качество информации. Информация, получаемая в результате применения метода, может быть прямой и косвенной (сведения, требующие интерпретации для создания представления об объекте). В зависимости от геологических условий

некоторые методы могут давать в одних случаях прямую, в других косвенную информацию.

Скорость получения информации включает время на процесс наблюдений и время на их обработку, а также на доставку наблюдений или проб к месту обработки и результатов обработки обратно. Скорость получения результатов зависит от качества информации: ряд методов применительно к одному и тому же объекту может давать и прямую и косвенную информацию, но с различной скоростью. Возможность быстрого получения даже косвенной информации, позволяющей принимать решения по дальнейшему направлению полевых работ, является одной из важнейших характеристик метода, которую необходимо учитывать при выборе КМ. Предварительные сведения, полученные сразу при проведении работ, позволяют оперативно изменить план данного маршрута (например, начать более детальное опробование водотоков), окончательные же сведения могут быть использованы в большинстве случаев лишь для составления плана полевых работ следующего сезона или для определения степени перспективности участка по аналогии с другими, лучше изученными.

Стоимость применения метода определяется расчетом по справочникам или статистическим данным.

Методика определения рационального комплекса методов

Выбор КМ зависит от двух групп условий: геологических, определяющих круг допустимых методов, и экономико-географических, определяющих круг оптимальных методов и методик. В общем виде определение КМ состоит из стадий: 1) отбор методов, применимых в условиях района, на основе общих представлений о возможностях методов и опыта их применения; 2) оценка применимости отобранных методов для условий района и для решения задач отдельных операций процесса РГС; 3) составление возможных КМ для данного района; 4) сравнение составленных КМ по степени выполнения задач съемки и поисков по качественным показателям и отбор рациональных КМ (на этой же стадии может начинаться применение количественных характеристик для сравнения методов и применение математических методов для оптимизации КМ); 5) дополнение отобранных КМ методами, необходимыми для изучения истории геологического развития района, изучения закономерностей размещения его полезных ископаемых и оценки перспектив района в отношении полезных ископаемых; 6) окончательный выбор КМ.

Покажем применение этой последовательности на примере выбора рационального КМ для геологической съемки масштаба 1:50 000 в условиях Сихотэ-Алиня. Возможности различных методов и некоторых их сочетаний кратко охарактеризованы в табл. 30, 33, 35 и др. Дополнительно следует заметить, что дешифрирование аэрофотоматериалов и материалов других ди-

Общая характеристика основных направлений применения различных групп и тектонических структур

Методы	Геологические тела						
	осадочные		вулканогенные		интрузивные		метаморфические
	рыхлые	литифицированные	кислые	основные	кислые	основные	
Геологические визуальные наблюдения, стратиграфический, тектонический и др.	М	М	М	М	М	М	М
Аэрофотометод (космический)	КФ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ
Петрографические и минералогические	СВ	СВ	СВ	СВ	СВ	СВ	СВ
Геохимические исследования: коренных пород рыхлых отложений вод газов	С	С	С	С	С	С	С
Шлиховой и аналогичные методы	С	С	С	С	С	С	С
Радиометрические: воздушные наземные спектрорадиометрические		СК К СК	СК К СК	К СК	СК К СК	К СК	СК К СК
Сейсморазведка	ВФ	КФ	Ф	Ф	ПФ	ПФ	
Гравиразведка			ВФ	ВФ	ВФ	ВФ	
Магниторазведка: воздушная наземная			К СК	К СК	К СК	К СК	СК СК
Электроразведка: профилирование зондирование	ПФ	ПФ ПФ ПФ	ПФ Ф	ПФ Ф	ПФ Ф	ПФ ПФ	П К К

Примечание. С — изучение состава, В — выделение тел и структур, П — прослеживание, Ф — изучение формы тел и структур, Л — установление последовательности тел и

станционных методов позволяет выделить значительную часть дизъюнктивных нарушений, на отдельных участках — фрагменты складчатых структур, границы контрастных толщ, отдельные пачки известняков и кремнистых пород, границы интрузий и зоны ороговикования.

Опыт проведения геофизических исследований показывает следующее: а) аэромагнитная съемка выявляет общие контуры интрузивов, иногда совместно с зонами измененных пород, наиболее крупные разрывы, рои даек, общие контуры полей эффузивов и поля эффузивов основного и среднего состава; б) наземная магнитная съемка выделяет интрузии пород кислого и среднего состава с разделением их по составу на отдельные разновидности; площади основных эффузивов и эффузивов среднего состава с разделением по степени магнитности; ослабленные зоны, разрывы, дайки, зоны ороговикования; осадочные породы выделяются слабо; в) электроразведка ЕП выяв-

методов при изучении основных типов геологических тел

платформенные	Тектонические структуры							
	складчатые		инъекционные	вулканические	разрывные			глубинные
	основные	мелкие			поверхностные			
					мощные	маломощные	мелкая трещиноватость	
ЛМ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	КФЛ	ВЛ	М
КФ	КФЛ		КФ	КФЛ	КФЛ	КФЛ		КФ С
					СВ В В В	СВ В В В		СВ В В СВ
	П П П		П	П	П К К	П К К		П К К
КФ			Ф	Ф	КФ К			КФ КФ
	К К		К КФ	К КФ	К К	К К	К	К К
ПФ Ф	П Ф		Ф	Ф	П Ф Ф	Ф Ф		К К

вание тел и структур, К — объединение операций прослеживания и выделения тел и структур, М — объединение всех операций процесса РГС.

ляет зоны сульфидизации, пласты графитизированных пород; методом ДП — пласты с различным сопротивлением, интрузии среди неметаморфизованных пород, иногда поля распространения эффузивов различного состава; г) гравиразведка помогает при изучении глубинной структуры района, выделяя разрывы различной глубинности и блоки различного строения; позволяет оценивать мощность покровов эффузивов в грабенах и выяснять форму интрузивов на глубине; д) сейсморазведка КМПВ выясняет поведение подошвы эффузивов; в отношении других элементов геологического строения опыта нет; е) радиометрия выделяет и прослеживает границы интрузивов, пачки и покровы кислых эффузивов и дайки кислого состава, иногда отдельные пачки и пласты пород в осадочных толщах.

Глубина изучения при РГС обычно обеспечивается эрозионным врезом даже в пределах перспективных участков. Лишь в пределах горнодобываю-

Применимость различных поисковых методов в районах разного типа

Методы	Типы районов и комплексы пород (см. с. 110)						
	Покровный комплекс				Складчатый комплекс		
	П ₀	ЧП ₀	П _в	ЧП _в ¹ П ₀ П _в	С	ЧС, ЧП ₀ С	П _в С, П ₀ П _в С
Визуальный	++	++ ¹	++	++ ¹	++	++ ¹	++ ¹
Аэрофотометод	++	+	++	+	++	+	+
Шлифово-минералогический	++	+ ¹	++	+ ¹	++	+ ¹	+ ¹
Геохимические:							
по коренным породам	++	++ ¹	++	++ ¹	++	++ ¹	++ ¹
по вторичным ореолам	++	+ ¹	++	+ ¹	++	+ ¹	+ ¹
по водам	++	++	++	++	++	++	++
по газам	++	+	++	+	++	++	+
по растениям	+	+	+	+	+	+	+
Магниторазведка	++	++	++	++	++	++	++
Гравиразведка	++	++	++	+	++	++	+
Сейсморазведка	++	++	+ ²	+ ²	+ ²	+ ²	+ ²
Электроразведка	++	++	++	++	++	++	+
Радиометрия	++	+ ¹	++	+ ¹	++	+ ¹	+ ¹

¹ Метод применим в основном по скважинам.

² Метод применим в основном на перспективных участках.

Примечание. ++ метод применим, + метод ограниченно применим.

щих районов для выявления полезных ископаемых требуется специальное изучение на глубину до 300—700 м.

Перейдем к выбору рациональных КМ.

1 стадия. В условиях района могут применяться практически все известные методы, однако по ряду причин обычно не используются структурная съемка, структурный анализ, атмогеохимические поиски, аэрогамма-съемка, биогеохимические поиски и некоторые другие методы. Только на перспективных участках и в пределах горнорудных узлов применяются электротондирование, электроразведка методами ВП и ЕП, литогеохимические поиски по первичным ореолам, бурение, картаж и скважинные исследования.

2 стадия. Результат этой стадии показан в табл. 39.

3 стадия. Из табл. 39 видно, что во все КМ должны входить методы 1, 2, 4, 6, 13, 20, 21 (номера методов по таблице). Ранее показано, что в КМ могут быть включены следующие сочетания поисковых методов: 11+22, или 10+22, или 10+11+22. Для поисков по всей площади РГС наиболее рационально сочетание 10+11+22 (номера методов по табл. 39). Перечисленный комплекс обеспечивает удовлетворительное выполнение большей части операций РГС, однако для детального изучения горнорудных районов и изучения перспективных участков необходимо применение и других методов. В зависимости от изученности и перспективности района и степени его экономической освоенности могут быть применены следующие сочетания дополнительных методов: I—3, 5—8, 9, 12, 14, 16, 17 (или 18), II—3, 5, 7—9, 12, 14, 17 (или 18), III—3, 7, 9, 14, 17 (или 18), IV—7, 9, 17 (или 18) для районов типа П_в и V—5, 7—9, 12, 14, 15, 17 (или 18), VI—5, 7—9, 14, 17 (или 18), VII—7, 9, 14, 17 (или 18) и VIII—7, 9, 17 (или 18) для районов типа С.

4 стадия. Сравнение стоимости применения различных КМ для разных районов Сихотэ-Алиня показывает, что рациональными будут следующие КМ (номера методов по табл. 39).

Районы, сложенные вулканогенными покровами мощностью до 1000 м, с месторождениями цветных и редких металлов

а) хорошо изученные с эксплуатируемыми месторождениями: 1—9, 12—17, 19—21 и сейсморазведка на отдельных профилях;

б) средние изученные с известными месторождениями, но без горнодобывающих предприятий: 1—13, 14*, 15, 16*, 17, 19—22;

в) плохо изученные без известных месторождений: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14—18*, 19—22.

Районы, сложенные складчатыми образованиями, с месторождениями цветных и редких металлов

а) хорошо изученные с эксплуатируемыми месторождениями: 1—9, 12—14, 15, 17—21;

б) средние изученные с известными месторождениями, но без горнодобывающих предприятий: 1—13, 14*, 15, 17, 18, 19—22;

в) плохо изученные, без известных месторождений: 1, 2, 4, 6—11, 13, 14*, 17 или 18, 19—22.

5—6 стадии. Отобранные КМ дополняются методами 23—28 (см. табл. 39) и из полученных полных КМ выбирается оптимальный.

Оптимизация рационального комплекса методов

Оптимизация КМ проводится на стадиях 3 и 4 и может иметь два варианта: 1) выбрать такой КМ, чтобы обеспечить $\max P_s(Z_{KM})$ и $\max P_{ps}(Z_{KM})$ при ограничениях $Z_{KM} \leq X$, $Z_j \geq 0$, $H \geq H_j$, $H_j \geq 0$; 2) выбрать такой КМ, чтобы обеспечить $\min Z_{KM}$ при ограничениях $P_s(Z_{KM}) \geq P_z$, $P_{ps}(Z_{KM}) \geq P_{pz}$, $Z_{KM} \leq X$, $Z_j \geq 0$, $H \geq H_j$, $H_j \geq 0$, где $P_s(Z_{KM})$ — средняя вероятность и $P_{ps}(Z_{KM})$ — средняя достоверность выявления объектов РГС при затратах на КМ, равных Z руб./км²; P_z — заданная вероятность и P_{pz} — заданная достоверность выявления объектов РГС; H_j — время по формуле (63); Z_j — стоимость по формуле (64) и Z_{KM} — общая стоимость применения КМ по формуле (65); X — общий ресурс средств и H — общий ресурс времени на проведение РГС. Как показатели оптимизации могут быть использованы различные критерии (количество информации, общая погрешность и др.), а для самой оптимизации — различные способы.

Графические способы выбора и оптимизации КМ основаны на применении теории графов [89]. Множество возможных методов $\{A_j\}$ представляется как квазиупорядоченный граф $G(P_s Z_j)$ состоящий из n подмножеств (методов). Вершины подмножеств — дискретные значения характеристик методов (вероятность и достоверность обнаружения, стоимость применения методов и др.). Путь, включающий по одной вершине каждого подмножества (у методов, исключаемых из КМ, путь проходит через нулевые значения), характеризует возможные КМ, а путь, соответствующий тем или иным ограничениям, — рациональные или оптимальный КМ.

* Методы, применяемые на перспективных участках.

Характеристика возможностей методов РГС в условиях Сихотэ-Алиня

№ п/п	Методы	Район типа П _в					Район типа С									
		Составление разреза	Выделение тел	Прослеживание геологических тел и границ	Изучение вещественного состава	Изучение физических свойств тел	Изучение формы тел	Изучение внутренней структуры тел	Изучение истории геологического развития района	Составление разреза	Выделение тел	Прослеживание геологических тел и границ	Изучение вещественного состава тел	Изучение физических свойств тел	Изучение формы геологических тел	Изучение внутренней структуры тел
1	Визуальные наблюдения	ппп	пп	пп	пп		пп	пп	ппп	пп	пп	пп		пп	пп	
2	Дешифрирование аэрофотоматериалов		О, П, К	О, П, К	пп		О, П, К	П		О, П, К	О, П, К, П, К			О, П, К	О, П, К	
3	Геоморфологические			П, К					КК							КК
4	Стратиграфические	ппп							КК							К
5	Определения абсолютного возраста	КК							ПКК	П, К		ПКК				КК
6	Петрографические и литологические	ПК	П, К		ПКК				КК	К		К				КК
7	Минералогические	К	К	К	ККК			К	К	К		ККК				К
8	Геохимические (по коренным породам)															
	Литогеохимические:															
9	по вторичным ореолам		К, ДД	КК, Д	К, ДД			К	К	К, ДД	КК, Д	К, ДД				К
10	по потокам рассеяния				К, Д							К, Д				
11	Гидрогеохимический				К, Д							К, Д				
12	Гравиразведка		К	К		ККК	ПК			К	К		ККК	ПК		
	Магниторазведка:															
13	аэросъемка		К	КК	К	КК	К	К		К	ККК	К	ККК	КК	К	
14	наземная	П	ПП	ПП, К	К	КК	ПК	ПК	П	ПП	ПП, К	КК	ККК	ПК	ПК	
	Электроразведка:															
15	методы профилирования		Д	ДД		ДКК	ДК	ДК		ДД	ДД	ДКК	ПКК	ДК	ДК	
16	методы зондирования		П	ПК		ПКК	ПК	ПК				КК	КК	ПК	ПК	
17	ВП	Д	Д	ДД		ДД			Д	ДД	Д					
18	ЕП	Д	Д	ДД		ДД			Д	ДД	ДД	Д		ДД		
19	Радиометрия:				Д											
	воздушная	—	ОО	О	О	—	О	О	—	О	О	О	—	О	О	—
	наземная	П	ПП	ПП	П	—	П	П	П	ПП	ПП	П	ППП	П	П	
20	Петрофизические исследования	П	П	П	ПКК	ППП			К	П, ДД	П, ДД	ПП				К
21	Шлиховой	П	П, ДД	П, ДД	ПП				ПКК	ПКК	ПКК	ПКК				ПКК
22	Фациальный анализ	ПП	ППП						ККК	ККК	ККК	ККК				ККК
23	Палеогеографический								ККК	ККК	ККК	ККК				ККК
24	Формационный								КК	КК	КК	КК				КК
25	Тектонический (включая анализ структур)	ППП	П				ПКК	ПКК	ПКК	ПКК	ПКК	ПКК		ПК	ПКК	ПКК
26	Палеотектонический и палеогеологический								КК	КК	КК	КК				КК
27	Исследование закономерностей размещения полезных ископаемых		Д	ДД					ККК	ККК	ККК	ККК				ККК

Примечания. 1. Этапы общей последовательности РГС: о — опережающий, п — три знака — метод необходим, два знака — метод часто дает хорошие результаты.

полевой, д — детализационный, к — камеральный. 2. Значимость методов для решения задач: один знак — метод может дать полезные сведения.

При графической реализации этой процедуры дискретные значения характеристик методов изображаются в виде точек на вертикальной прямой (рис. 12). Путь (последовательность линий), соединяющий по одной точке на оси, соответствующей каждому методу, дает возможный КМ. При использовании мак-

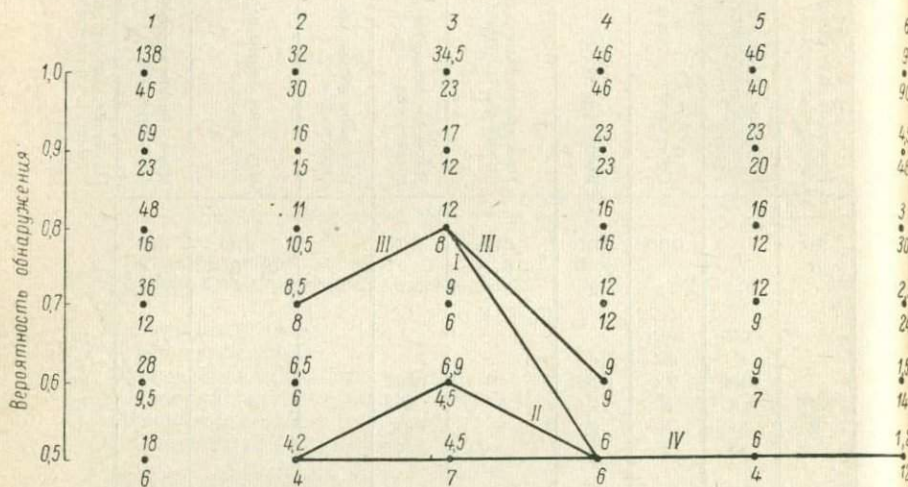


Рис. 12. Схема графического выбора КМ.

Поиски: 1 — литогеохимические по вторичным ореолам, 2 — гидрогеохимические, 3 — шлиховые; 4 — магниторазведка, 5 — электроразведка методом ЕП, 6 — поисковые маршруты. Цифры над точкой — стоимость работ C (в тыс. руб.), под точкой — время на выполнение работ T (в отряд-месяцах). Все величины условные.

Варианты	Ограничения			Результаты		
	P	C	T	P	C	T
I	0,9	20	8	0,9	18	8
II	0,9	15	8	0,9	17,1	6
III	~1,0	30	12	0,98	29,5	9
IV	~1,0	22	10	0,99	32,7	12

симальной вероятности обнаружения объектов как цели оптимизации она подсчитывается по формуле сложения вероятностей независимых событий, а время определяется временем, необходимым для проведения работ самым медлительным методом. КМ оптимизируется по вероятности и стоимости работ, но как ограничения могут использоваться также наличие аппаратуры, кадров и т. п. Для правильного выбора КМ необходимо перебрать все возможные сочетания методов, что даже при небольшом числе методов (7—10) требует применения ЭВМ. Выбор облегчается, если ограничиться перебором лишь тех вариантов, которые рациональны по опыту работ в аналогичных условиях (т. е. только теми КМ, которые выбираются по качественным характеристикам).

Методы математического программирования. Возможности применения этих методов во многом определяются тем, что зависимости между затратами на проведение работ и максимизируемыми показателями (вероятность обнаружения и пр.) нелинейны: затраты на единицу приращения вероятности и достоверности обнаружения объектов РГС (и следовательно, всех производных показателей) растут по мере их увеличения экспоненциально. В связи с этим задача оптимизации КМ принадлежит к задачам выпуклого программирования, для которых общее решение отсутствует [62]. Способы решения этой задачи в большинстве случаев заключаются в аппроксимации выпуклой функции рядом линейных зависимостей.

При применении методов математического программирования в ряде случаев целесообразно использовать информационные меры эффективности и погрешности метода. В этом случае символическая запись задачи определения КМ имеет вид: найти такой КМ, чтобы $\sum I_j(Z_j) = \max$ при 1) $\sum I_j(Z_j) \geq I_z$, 2) $\sum O_j(Z_j) \leq O_z$, 3) $Z_j \geq 0$, $Z_{KM} \leq X$, 4) $H_j \geq 0$, $H_j \leq H$, где $I_j(Z_j)$ — мера эффективности метода A_j при затратах Z_j ; I_z — заданное значение меры эффективности КМ; $O_j(Z_j)$ — значение общей погрешности метода A_j при затратах Z_j ; O_z — заданное значение этой погрешности; Z_j — затраты на проведение работ методом A_j ; X — заданный предел общих затрат на проведение работ; H_j — время на проведение работ методом A_j ; H — общий срок на проведение работ.

Покажем применение одного из простейших приемов линейного программирования [65] на примере выбора КМ поисков олова, свинца и ртути в Сихотэ-Алине. Примем $I_z \geq 0,4$, $O_z \leq 0,25$ бита. Исходные данные приведены в табл. 40.

Составим две начальные матрицы: в матрице 1 расположим методы по убыванию их эффективности, в матрице 2 — по возрастанию значения погрешности при плотности наблюдений k . Набираем из матрицы 1 методы до тех пор, пока их общая мера эффективности не станет более 0,4 бита, и получаем матрицу 1А. Составляем из методов, вошедших в матрицу 1А, новую матрицу погрешностей 2А. С целью уменьшения общей погрешности КМ заменяем метод с наибольшей погрешностью A_4 методом с меньшей, так чтобы не нарушалось требование $I_z = 0,4$ бита.

Матрица 1

A_4	A_6	A_5	A_3	A_1	A_2
0,180	0,173	0,084	0,025	0,030	0,032

Матрица 2

A_3	A_2	A_6	A_1	A_5	A_4
0,056	0,089	0,115	0,122	0,241	0,282

Матрица 1А

A_4	A_6	A_5	$\sum I_j = 0,437$
0,180	0,173	0,084	(j)

Матрица 2А

A_6	A_5	A_4	$\sum O_j = 0,638$
0,115	0,241	0,282	(j)

Информационные характеристики методов поисков

Методы	Плотность наблюдений			
	k	$2k$	k	$2k$
	Мера эффективности		Погрешность метода	
Визуальные A_1	0,030	0,070	0,122	0,104
Магниторазведка A_2	0,032	0,088	0,089	0,132
Электроразведка A_3	0,025	0,022	0,056	0,084
Литогеохимические A_4	0,190	0,395	0,282	0,244
Гидрогеохимические A_5	0,084	0,215	0,241	0,204
Шлиховые A_6	0,173	0,256	0,115	0,058

Матрица 1Б

$$\begin{array}{ccc} A_6 & A_5 & A_3 \\ 0,173 & 0,084 & -0,025 \end{array} \quad \Sigma I_j = 0,232$$

(j)

Из матрицы 1Б видно, что граничные условия не могут быть выполнены при плотности k , что заставляет перейти к большей плотности наблюдений. Составим новую исходную матрицу эффективности (матрица 3) и погрешностей (матрица 4), используя данные для двойной плотности. Далее, действуя аналогичным образом, получим матрицы 3А и 4А, 3Б и 4Б и т. д.

Матрица 3

$$\begin{array}{ccc} A_4 & A_6 & A_5 \\ 0,395 & 0,256 & 0,215 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} A_1 & A_3 & A_2 \\ 0,070 & 0,022 & 0,028 \end{array}$$

Матрица 4

$$\begin{array}{ccc} A_6 & A_3 & A_2 \\ 0,058 & 0,084 & 0,132 \end{array} \quad \begin{array}{ccc} A_1 & A_5 & A_4 \\ 0,161 & 0,204 & 0,244 \end{array}$$

Матрица 3А

$$\begin{array}{cc} A_4 & A_6 \\ 0,395 & 0,256 \end{array} \quad \Sigma I_j = 0,651$$

(j)

Матрица 4А

$$\begin{array}{cc} A_4 & A_6 \\ 0,058 & 0,244 \end{array} \quad \Sigma O_j = 0,302$$

(j)

Матрица 3Б

$$\begin{array}{cc} A_6 & A_5 \\ 0,256 & 0,215 \end{array} \quad \Sigma I_j = 0,471$$

(j)

Матрица 4Б

$$\begin{array}{cc} A_6 & A_5 \\ 0,058 & 0,204 \end{array} \quad \Sigma O_j = 0,262$$

(j)

Матрица 3В

$$\begin{array}{cc} A_6 & A_1 \\ 0,256 & 0,070 \end{array} \quad \Sigma I_j = 0,326$$

(j)

Все другие замены после матрицы ЗБ нарушают заданное значение меры эффективности. Таким образом, при поисках перспективных участков размером более 0,5 км² при заданных ограничениях оптимальным будет комплекс гидрогеохимических и шлиховых поисков, что соответствует проверенной практике. При других ограничениях КМ будет иным. В ходе выбора КМ в зависимости от полученных результатов возможно и изменение ограничений.

Приведем дополнительно задачу выбора КМ для поисков локальных нефтегазоносных структур в условиях Западно-Сибирской низменности [101]. Задача состоит в том, чтобы заменить безошибочный, но дорогостоящий метод (сейсморазведку) более дешевым, но менее надежным (гравиразведкой) с учетом стоимости проведения проверочных работ. Имеется n комплексов методов, состоящих из основного и проверочного методов. Ассигнования на работы составляют X . Условия: 1) между затратами на поиски и исследованной площадью существует линейная зависимость, 2) количество открываемых структур пропорционально условной площади, определяемой по формуле $S_j = Q_j a_j X$, где Q_j — вероятность выявления структуры; a_j — площадь, изучаемая j -м видом поисков за 1 руб. Общая формулировка задачи выбора

$$S_j = Q_j a_j X = \max. \quad (77)$$

Если обозначить $S_{j \text{ осн}}$ и $S_{j \text{ пр}}$ как площади, изученные в j -м комплексе основным и проверочным методами, $z_{j \text{ осн}}$ и $z_{j \text{ пр}}$ — стоимости изучения единицы площади основным и проверочным методами, $Z_{\text{осн}}$ — затраты на проведение основного вида работ, $\alpha_j = S_{j \text{ осн}}/Z_j$, $y_{j \text{ пр}} = S_{j \text{ пр}}/S_{j \text{ осн}}$ — коэффициент проверки, $y_{j \text{ эк}} = z_{j \text{ осн}}/z_{j \text{ пр}}$ — коэффициент экономичности, то цель выбора КМ может быть представлена в виде

$$S_j = Q_j \frac{Z_j}{1 + y_{j \text{ пр}}/y_{j \text{ эк}}} = \max. \quad (78)$$

Z_j и $y_{j \text{ эк}}$ могут быть определены по статистической отчетности, Q_j и $y_{j \text{ пр}}$ — по опыту работ.

В решении задачи не отражены такие факторы, как общее время на проведение работ, качественная оценка пропускаемых структур, ограничения в ресурсах. Учет первых двух факторов зависит от конкретных условий. Ограничения в ресурсах определяют цель текущего планирования как распределение имеющихся ресурсов между различными КМ, которое позволит изучить максимальную общую площадь

$$S_{\max} = \sum_{(j)} \left(Q_j \frac{Z_j}{1 + y_{j \text{ пр}}/y_{j \text{ эк}}} \right) \quad (79)$$

при ограничениях $\sum_{(j)} z_j \leq X$, $z_j \geq 0$, $\sum_{(j)} d_j z_j = D$, где z_j — затраты на j -й вид работ; D — общее количество лимитирующего фактора; d_j — количество лимитирующего фактора на 1 руб. затрат j -го вида работ, определяемое при наличии его ограничений

в основном ($D_{осн}$) и проверочном ($D_{пр}$) видах поисков формулой

$$D_j = D_{j\text{ осн}} \frac{1 + d_{j\text{ пр}y_j\text{ пр}/d_{j\text{ осн}y_j\text{ осн}}}{1 + y_{j\text{ пр}}/y_{j\text{ эк}}} \quad (80)$$

Задача выбора КМ может быть поставлена и в следующем виде (аналогично ставится и задача выбора методики применения отдельного метода). Дана функция выявления объектов РГС от некоторого аргумента s_i : интегральная $F(s_i)$ или дифференциальная $\varphi(s_i)$; дана функция стоимости применения метода A_j (или различных методик его применения) $Z_0(s_i)$. Требуется определить оптимальный КМ $\{A_j\}_{\text{опт}}$, т. е. минимизировать Z_0 при условии $\overline{P_s(Z_0)} \geq P_z$ и $\overline{P_{ps}(Z_0)} \geq P_{pz}$, где P_z и P_{pz} — заданные, а $\overline{P_s(Z_0)}$ и $\overline{P_{ps}(Z_0)}$ — получаемые при затратах $Z_0(s_i)$ величины вероятности и достоверности обнаружения. Пусть выбраны N методов, аргументы которых $s_1, s_2, s_3, \dots, s_N$, и каждый метод применяется в диапазоне от s_{i-1} до s_i . Тогда можно составить следующее выражение для суммарных затрат:

$$Z_N = \sum_{i=0}^N [F(s_{i-1}) - F(s_i)] \mu Z_0(s_{i-1}), \quad (81)$$

где μ — показатель, определяемый из практики [123].

В такой постановке задача одномерна (имеется только один аргумент). Если s_i понимать как перечень характеристик объекта B_i (например, длина, ширина, интенсивность аномалий и т. п.), задача становится многомерной. В одномерном случае задача сводится к минимизации суммы, описанной формулой (81), и решается методами динамического программирования путем последовательного вычисления

$$Z_j(s_i) = \min \{Z'_{j-1}(s_i) + [F(s_i) - F(y)] Z_0(s_i)\}, \quad (82)$$

где $\alpha \leq y \leq s_i$, $j = 1, 2, \dots, m$ и $Z_0(s_i) = [F(s_i) - F(\alpha)] Z_0(s_{i-1})$, $s_i \in (\alpha, \beta)$, α и β — фиксированные значения. Этот способ весьма трудоемок и может быть реализован лишь на ЭВМ.

Задача упрощается в случае оптимизации рационального КМ, когда число конкурирующих методов можно существенно ограничить в связи с учетом обязательности применения некоторых методов как по их сущности (геологические наблюдения, дешифрирование аэрофотоматериалов и т. п.), так и по природным условиям (например, бурение при изучении погребенных или не выходящих на поверхность образований). Решение задачи тогда состоит в следующем: а) из рассмотрения исключаются обязательные методы и затраты на них, б) определяется число конкурирующих методов, в) задаются значения аргументов s_i по геологическим соображениям или статистическим данным, г) подсчитываются затраты. Повторяя эту процедуру для разных сочетаний методов и аргументов и сравнивая затраты, выбираем наиболее оптимальный КМ по минимуму затрат при

условии соблюдения заданных ограничений (заданные вероятность и достоверность обнаружения, плотность сети наблюдений и т. п.).

Применение теории статистических решений. Выбор КМ может рассматриваться как принятие решения в условиях неопределенности сведений о районе и объектах работ («игра против природы» [4, 25, 122, 123]).

Пусть имеется n допустимых рациональных КМ $\{D_n\}$ и m возможных состояний изучаемого района — характеристик объектов, условий работ и т. д. — в виде их моделей $\{M_m\}$. Применение КМ D_i для получения определенного результата (определенной вероятности или достоверности выявления объектов и др.) связано с необходимостью проведения затрат. Применение КМ дает определенный выигрыш V в виде или разности между стоимостью выявляемых полезных ископаемых и затратами на проведение работ, или уменьшения стоимости работ против заданной или против базисного КМ и т. п. Требуется выбрать такой КМ D_h , чтобы при всех возможных состояниях района обеспечить некоторый выигрыш или по крайней мере не допустить убытков. Если бы заранее было известно, что условия проведения работ соответствуют определенной модели M_h , можно было бы выбрать наилучший КМ D_i , дающий максимально возможный выигрыш $V_h = \max V_{ih}$. В реальных условиях из-за неполной определенности условий (неизвестности точной модели M_h) принимается не лучший из возможных КМ, в связи с чем возникает разность между максимально возможным выигрышем V_h и выигрышем V_{ih} , который был получен в результате применения КМ D_i . Эта разность составляет возможные потери r_{ih} , т. е. тот риск, на который идет производитель работ, принимая КМ D_h :

$$r_{ih} = V_i - V_{ih}. \quad (83)$$

Все возможные величины затрат, выигрышей и риска могут быть сведены в матрицы, как в табл. 41.

Критерии выбора КМ в такой постановке зависят от имеющейся информации о моделях $\{M_m\}$. Если из тех или иных соображений могут быть определены вероятности соответствия района тем или иным моделям $P(M_h)$, в качестве показателя эффективности КМ следует принять [25 и др.] математическое ожидание выигрыша

$$\bar{V}_i = \sum_{(k)} P(M_h) V_{ik} \quad (84)$$

или риска

$$\bar{r}_i = \sum_{(k)} P(M_h) r_{ik}. \quad (85)$$

При минимизации риска (или максимизации ожидаемого выигрыша) определение КМ представляет собой задачу выбора лучшего КМ в полностью известных условиях проведения работ.

Представим, что для поисков используются методы 1, 2, 3 и 4, которые могут применяться в различных сочетаниях: D_1 — методы 1+2, D_2 — 2+3, D_3 — 3+4, D_4 — 1+4, D_5 — 2+4, D_6 — 1+2+3. Затраты, необходимые для выявления объектов разного размера с вероятностью 0,7, возможные выигрыши (или убытки) и риск приведены в табл. 41.

Одна из задач методики РГС — определение необходимого и достаточного соотношения изучения всей площади и детального исследования отдельных участков в ее пределах. Наиболее часто эта задача возникает при постановке детализационных работ на участках, перспективных в отношении полезных ископаемых. Она может быть поставлена как задача определения разумной платы за дополнительную информацию для принятия решения о проведении (или продолжении) работ. Будем считать, что в некоторых условиях района $\{M_m\}$ проведены детализационные работы с затратами Z_d , в результате которых изменяются оценки вероятностей различных моделей района, т. е. вместо множества $\{P(M_m)\}$ становится известным множество $\{P'(M_m)\}$. В соответствии с этим математическое ожидание выигрыша (или риска) изменяется и разность между выигрышем (или риском) до и после проведения детализационных работ характеризует выигрыш от их проведения. Проведение этих работ экономически оправдано, если выигрыш V_d характеризуется соотношением

$$V_d = V'[P(M_m)] - V[P(M_m)] = \sum_{(i)} P'(M_i) V_{ih} - \sum_{(i)} P(M_i) V_{ih} > Z_d, \quad (86)$$

а риск

$$r_d = r'_{ih} - r_{ih} \{ \sum_{(i)} [P'(M_i) r_{ih}] - \sum_{(i)} [P(M_i) r_{ih}] \} < Z_d. \quad (87)$$

При этом затраты на проведение детализационных работ могут быть определены по формулам, производным от формул (66) — (70). Общий случай для отдельного метода

$$Z_d = \sum_{(i)} \{ [P_i^{06} + P_{ij}(11) - P_i^{06} P_{ij}(11)] f_{12} + [P_i^{06} + P_{ij}(22) - P_i^{06} P_{ij}(22)] f_{21} \}, \quad (88)$$

случай для съемки

$$Z_d = \sum_{(i)} [P_i^{06} - P_i^{06} P_{ij}(11)] f_{12} \quad (89)$$

и случай КМ

$$Z_d = \sum_{(i)} \{ [P_i^{06} - P_i^{06} P_i(1T) + P_i(1T)] f_{22} \}. \quad (90)$$

Если ввести возможную стоимость обнаруживаемых полезных ископаемых, оцененную по формуле (71), то получим выражение, дающее оценку средних потерь,

$$H = Z_h - C_s. \quad (91)$$

Характеристики различных КМ при вероятности обнаружения 0,7

Комплексы методов	Размеры объектов, км ²					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Затраты						
D_1	3300	1777	856	475	357	279
D_2	2888	1612	700	462	332	263
D_3	2567	1050	587	383	270	187
D_4	2888	1188	693	393	286	213
D_5	2235	1136	521	341	242	174
D_6	2235	1100	563	444	244	188
Выигрыши (или убытки)						
D_1	-2700	-1177	-256	125	243	321
D_2	-2288	-1012	-100	138	268	337
D_3	-1967	-550	13	217	330	413
D_4	-2188	-518	-93	208	314	387
D_5	-1635	-536	79	259	358	426
D_6	-1635	-500	37	156	356	412
Риск						
D_1	1065	677	535	134	115	105
D_2	653	312	179	121	90	89
D_3	332	50	66	42	28	13
D_4	553	18	172	51	44	39
D_5	0	36	0	0	0	0
D_6	0	0	42	103	2	14
Риск с учетом вероятности $P(M_m)$						
$P(M_m)$	0,05	0,09	0,12	0,15	0,19	0,19
D_1	53,25	60,93	64,20	20,1	21,85	19,95
D_2	32,65	46,08	21,48	18,15	17,1	16,91
D_3	16,6	4,50	7,92	6,3	5,32	2,47
D_4	27,65	1,62	20,64	7,65	8,36	7,40
D_5	0	3,24	0	0	0	0
D_6	0	0	6,48	15,45	0,38	2,66
Итого:	130,15	116,37	120,72	67,65	53,01	49,39

Сводные характеристики КМ будут следующими:

Общий риск по всем моделям	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
Риск без учета убытков	240,28	152,37	43,11	73,32	3,24	24,97
	61,90	52,16	22,01	23,41	0	24,97

Примечание. Из данных таблицы видно, что наилучшими КМ в принятых условиях являются D_5 и D_6 : при них достигаются наименьшие затраты на выявление всех моделей. Кроме того, матрица выигрышей показывает, что для целого ряда моделей достижение вероятности 0,7 при принятых затратах невозможно.

Близкие формулы оценки средних потерь были предложены В. Е. Зайцевым [53] *:

$$I = Z_0 - P_i^{об} Q_{ij} C_s + (1 - P_i^{об}) R_{ij} f_{11} + \\ + (1 - P_a) (1 - R_{ij}) f_a + P_a (1 - Q_{ij}) f_{a.л}, \quad (92)$$

где Z_0 — затраты на проведение геофизических работ на изучаемой площади; f_a , $f_{a.л}$ — затраты на проверку соответственно ложной рудной и ложной нерудной аномалий; C_s — допустимая стоимость работ на ожидаемые запасы полезного ископаемого; P_a — показатель «продуктивности» аномалий для данного метода, равный отношению числа рудных аномалий к числу всех аномалий, выявленных на площади (этот показатель уточняет показатель R_{ij}). Все слагаемые, кроме второго, дают оценку потерь (затрат на проведение работ), а второе — отражает возможные прибыли.

Для выбора наилучшей методики работ или всего КМ кроме математического ожидания риска или выигрыша можно применять и другие показатели:

1) критерий Лапласа — все возможные варианты $\{M_m\}$ равновероятны и вероятность обнаружения $P(Z)$ при затратах Z

$$P(Z) = \sum_{(j)} P_{ij}(Z). \quad (93)$$

Выбирают то значение Z , при котором достигается заданная вероятность;

2) критерий минимизации потерь K_m . Критерий определяют по таблице потерь: исходя из матрицы результатов вычисляют потери при принятии той или иной гипотезы о модели района M_i для разных возможных моделей M_m . Если принята гипотеза, что $M_i = M_1$, будут выбраны D_h и стоимость Z_h , соответствующие $\max P_{ih}$. Если в действительности $M_i = M_{ii}$, то следует выбрать D_{ii} и стоимость Z_{ii} , соответствующие $\max P_{iij}$. Следовательно, потери $\Delta K_{ih} = Z_{ii} - Z_h$. Итоговый критерий

$$K_m = \sum_{(j)} (\Delta K_{ij}/n), \quad (94)$$

и решение находят из минимума этого критерия;

3) критерий субъективной оценки математического ожидания получаемого результата: для каждой модели M_i подсчитывают сумму удачных (ΣB), неудачных (ΣD) и промежуточных (ΣM) результатов и их количества f_i , d_i , m_i . Отнесение конкретной суммы затрат или других характеристик к той или иной категории в известной мере условно и определяется конъюнктурными соображениями. Из тех же субъективных соображений определяются (они могут быть заданы управляющей организацией) вероятности получения удачного $P(B)$, неудачного $P(D)$ и про-

* Обозначения, примененные в работе В. Е. Зайцева, заменены принятыми в настоящей работе.

межуточного результата $P(M)$ при условии $P(B) + P(M) + P(D) = 1$. Итоговый критерий

$$P_{mi} = P(B) \Sigma (B/f_i) + P(D) \Sigma (D/d_i) + P(M) \Sigma (M/m_i). \quad (95)$$

Последовательность применения методов

Применение методов, входящих в состав КМ, должно проводиться в определенной последовательности, которая должна обеспечивать своевременное получение материалов, необходимых для управления полевыми и камеральными работами. Общим правилом при определении последовательности является первоочередное применение универсальных методов, позволяющих выявить и изучить (хотя бы и предварительно) возможно большее количество объектов. Необходимость детального изучения участков, перспективных в отношении полезных ископаемых, делает обязательным первоочередное применение поисковых методов. Кроме того, имеются некоторые правила, выработанные практикой РГС.

1. Геофизические исследования по всей площади района, работы по выявлению перспективных участков, предполевое дешифрирование аэрофотоматериалов и другие виды геологических исследований, позволяющие получить сведения о геологии района до выезда, проводятся ранее собственно геологических исследований. Это означает, что при изучении любой достаточно большой части района маршрутные наблюдения, проходка горных выработок и скважин могут начинаться только после получения результатов применения перечисленных методов.

2. Дешифрирование аэрофотоматериалов, использование материалов интерпретации геофизических, геохимических и других методов должны постоянно предварять проведение геологических наблюдений в каждый маршрутный день или перед началом многодневных маршрутов и при составлении геологической карты каждого участка района.

3. Применение методов изучения истории геологического развития района в общем возможно лишь после окончания полевых наблюдений.

4. Исследование состава, физических свойств, формы и внутренней структуры геологических тел с помощью петрографических, литологических, минералогических, петрофизических, палеонтологических и других методов аналогичного типа начинается во время полевых работ, но в основном сосредоточивается на этапе камеральной обработки материалов.

Весь процесс РГС в настоящее время делится на четыре этапа: I — подготовка площади (проведение региональных геофизических работ и составление фотогеологических карт); II — проектирование и подготовка к полевым работам (окончание составления фотогеологических карт, обобщение материалов

предшествующих работ); III — полевые работы, включая полевую камеральную обработку и камеральную обработку материалов между полевыми сезонами при многолетнем цикле работ; IV — камеральные работы. В соответствии с этими этапами можно наметить общую последовательность применения методов в типовых рациональных КМ (см. рис. 15, 16).

Последовательность применения более или менее равноценных методов может быть определена на основе оценки количества информации, получаемой при последовательной детализации (по В. Н. Михайловскому, В. Н. Первушину, см. работу [17]). Представим, что при проведении РГС район площадью S_1 разделяется на серию участков размером k_1 (за него логично принимать среднюю площадь объекта РГС). Количество таких участков составит $n_1 = S_1/k_1$. Каждый из элементарных участков может находиться внутри объекта (полностью или частично) или вне его. Первоначальная энтропия ситуации составит

$$H_0 = \log_2 2^{n_1} = S_1/k_1. \quad (96)$$

После проведения РГС энтропия уменьшается за счет отбраковки участков, хотя бы частично не содержащих объекта. Информация в результате первой стадии работ составит

$$I_1 = H_0 - H_1 = S_1/k_1 - \sum \delta_1/k_1 = (1/k_1) (S_1 - \sum \delta_1), \quad (97)$$

где δ_1 — элементарные участки, полностью или частично попавшие в пределы объекта. В частном случае $\sum \delta_1$ — общая площадь объектов.

Дальнейшее проведение детализационных работ в пределах участков с известными объектами — выделение их более мелких частей (например, ореолов от отдельных тел или групп сближенных тел). На II этапе общая площадь элементарных участков I этапа, содержащих объект РГС, $S_2 = \sum \delta_1$ разделяется на $n_2 = S_2/k_2$ частей, где k_2 — площадь каждой из них. Полученная в результате такой детализации информация составит

$$I_2 = S_2/k_2 - \sum \delta_2/k_2 = (1/k_2) (S_2 - \sum \delta_2), \quad (98)$$

общая информация при однократной детализации

$$I_1 + I_2 = (1/k_1) (S_1 - S_2) + (1/k_2) (S_2 - S_3) \quad (99)$$

и после двукратной детализации

$$I_1 + I_2 + I_3 = (1/k_1) (S_1 - S_2) + (1/k_2) (S_2 - S_3) + (1/k_3) (S_3 - S_4), \quad (100)$$

где $S_2 = \sum \delta_1$, $S_3 = \sum \delta_2$, $S_4 = \sum \delta_3$.

В табл. 42 приведен схематизированный расчет количества информации, получаемой при применении ряда методов для поисков оловянных проявлений в условиях Дальнего Востока. Исходные данные: район работ — 1000 км², количество перспективных участков, выделяемых при первой детализации поисков

ТАБЛИЦА 42

Количество информации при детализации поисковых объектов, бит

Методы	Средние размеры объектов, км ²	Количество информации при детализации		
		первой	второй	третьей
Литогеохимические поиски по вторичным ореолам:				
по изолинии 0,001% олова	5	180		
по изолинии 0,01% олова	0,25		200	
по изолинии 0,1% олова	0,010			1250
Гидрогеохимические поиски:				
по сульфат-нону, мг/л				
до 5	7,5	117		
свыше 5	5,0		10	
по сумме металлов, мкг/л				
до 3	5,0	180		
свыше 3	2,5		20	
Шлиховые поиски по содержанию касситерита:				
более 50 зерен на шлик	6,0	153		
более 1 г/м ³	3,5		14,5	
более 5 г/м ³	2,5			5

на всей площади, — 10%, после первой детализации — 50 и после второй 75% (все величины округленные, но близкие к действительности). Судя по данным табл. 42, при поисках на всей площади все методы примерно равноценны и выбор должен зависеть от скорости получения результата и его надежности. При детализации обнаруживается явное преимущество литогеохимических поисков по вторичным ореолам для обнаружения отдельных тел и групп тел. Очевидно, что поиски на всей площади следует вести гидрогеохимическим и шлиховым методами, а детализацию участков — литогеохимическим.

Анализ геологических и экономико-географических факторов определения КМ позволяет выделить ряд типов районов, различающихся сочетанием этих факторов. Для каждого типа района можно определить типовые рациональные КМ. Они являются основой выбора рациональных и оптимальных КМ для конкретных районов.

Классификация геологических и экономико-географических условий проведения РГС

Задачи, методику РГС и состав КМ определяют экономико-географические и геологические условия.

Экономическая освоенность района (рис. 13) оказывает существенное влияние на детальность РГС и глубину изучения района. В экономически хорошо освоенных районах возможности открытия месторождений, выходящих на дневную поверхность, как правило, в значительной мере исчерпаны и расширение минерально-сырьевой базы связано с изучением находящихся на глубине образований и поисками слепых или перекрытых месторождений полезных ископаемых. В районах мало освоенных еще в течение длительного времени (вероятно, до 1990—2000 гг.) можно ограничиться изучением поверхности. Поэтому различны и цели РГС (по крайней мере в течение ближайших 10 лет): в мало освоенных районах интерес представляют в основном крупные месторождения, которые могут быть основой формирования горнодобывающих комплексов, в хорошо освоенных районах интересны и мелкие месторождения — они могут эксплуатироваться существующими горнодобывающими предприятиями.

Важнейшим условием освоения минеральных ресурсов является наличие: а) горнодобывающих предприятий; б) промыслов нефти или газа, нефтегазопроводов; в) магистральных путей сообщения (железных и магистральных шоссейных дорог, речных и морских путей сообщения). Каждый из этих факторов имеет зону влияния.

Степень благоприятности сочетаний перечисленных факторов охарактеризована в табл. 43.

Климатические и орографические условия. Рельеф района играет важную роль, поскольку в условиях расчлененного рельефа район может быть изучен на глубину в пределах эрозионного вреза. Климатические условия создают многочисленные помехи проведению работ и приводят к снижению норм выработки. Это снижение в разных температурных зонах (см. рис. 13) будет следующим (Единые нормы выработки на геологоразведочные работы. Горнопроходческие работы, 1969, с. 8):

Зоны на рис. 13	Месяцы					
	X	XI	XII	I и II	III	IV
1	—	—	—	0,95	—	—
2	—	—	0,94	0,92	0,95	—
3	—	0,94	0,92	0,88	0,92	—
4	—	0,92	0,91	0,86	0,91	—
5	—	0,91	0,89	0,85	0,89	—
6	0,93	0,85	0,80	0,80	0,85	0,93
7	В зависимости от температуры воздуха от 0,67 до 0,91					

Доступность изучаемых образований непосредственному наблюдению. Все объекты могут быть разделены на выходящие на дневную поверхность, слепые и погребенные. Доступность учитывается при классификации по ярусности.

Степень дислоцированности изучаемых образований и их состав определяются выделением комплексов пород различного состава и степени дислокации.

Классификация районов РГС по ярусности. Понятие ярусности при выделении типов районов по условиям проведения геологоразведочных работ впервые было предложено В. И. Красниковым и О. А. Глико. Идея В. И. Красникова была применена А. Я. Дубинским и его соавторами к задачам глубинного геолого-геофизического изучения СССР и затем автором — к условиям проведения РГС различного масштаба.

Классификация по ярусности основана на возможности выделения четырех основных комплексов пород:

а) четвертичный (Ч) — осадочные нелитифицированные и недислоцированные породы;

б) покровный осадочный (П_о) — осадочные недислоцированные, в различной степени литифицированные породы;

в) покровный вулканогенный (П_в) — вулканогенные и вулканогенно-осадочные слабо дислоцированные образования;

г) складчатый (С) — сильно дислоцированные и сильно литифицированные осадочные и осадочно-вулканогенные образования. Комплекс может быть разделен на два подкомплекса (собственно складчатый, образованный дислоцированными поро-

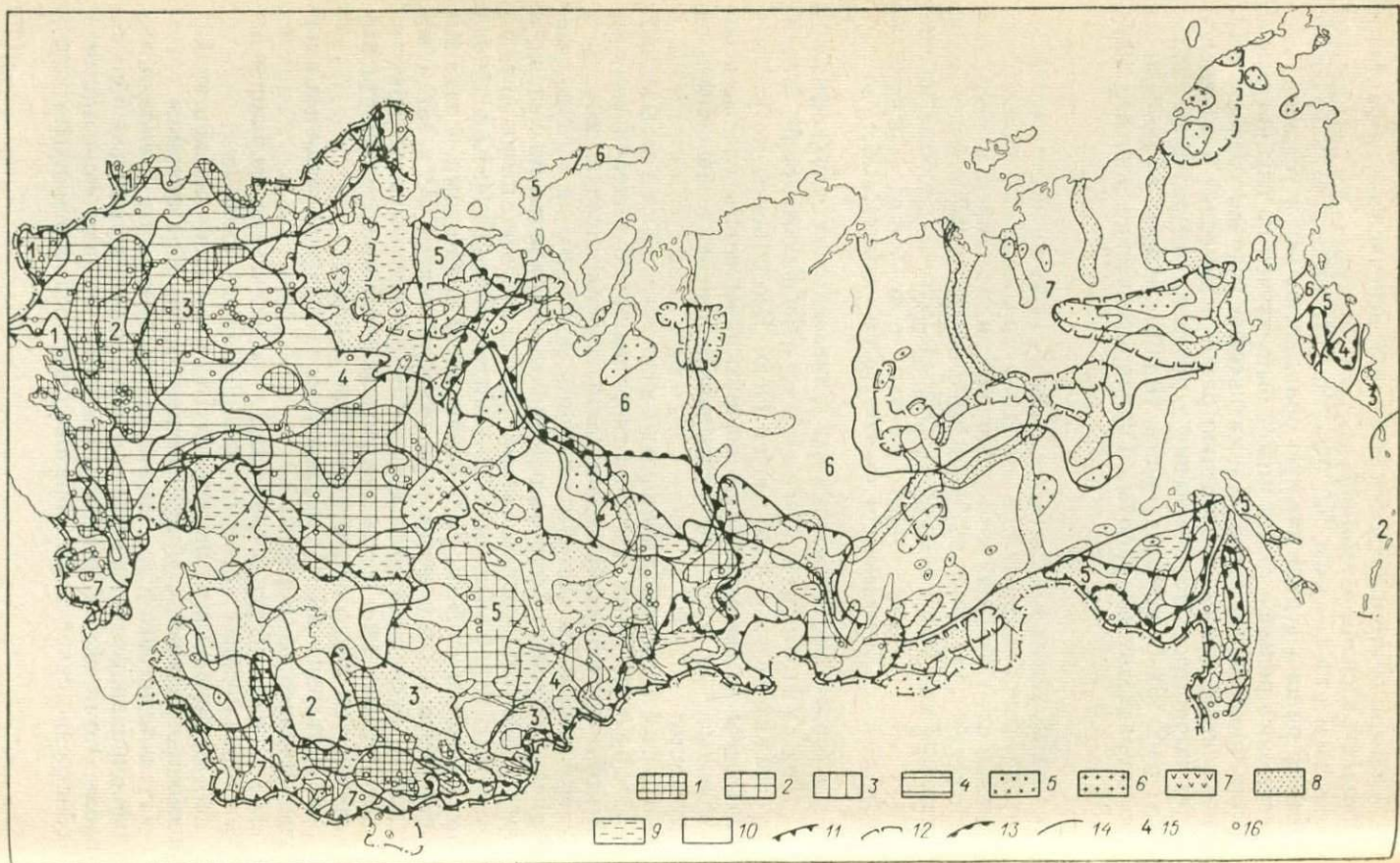


Рис. 13. Схема районирования СССР по экономико-географическим условиям освоения минерально-сырьевых ресурсов (по А. И. Бурдэ, В. Б. Кушеву, С. А. Масютиной, А. Ф. Прялухиной).

1—10 — см. табл. 43; 11 — зоны влияния Единой энергетической системы европейской части СССР и объединенных энергосистем Средней Азии, Казахстана, Центральной Сибири и Дальнего Востока; 12 — зоны влияния отдельных мощных линий электропередачи и мощных электростанций, не входящих в единые энергосистемы (действующих и строящихся); 13 — южная граница широкого распространения многолетней мерзлоты; 14 — границы температурных зон по условиям проведения горных и буровых работ и 15 — их номера; 16 — города с населением более 100 000 чел. Зоны 1—7 см. на с. 107.

ТАБЛИЦА 43

Сочетания экономико-географических условий освоения минерально-сырьевых ресурсов

Условия	Варианты сочетаний и степень благоприятности условий									
	благоприятные				средней благоприятности				малоблагоприятные	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зоны влияния горнодобывающих предприятий	+	+	+	—	+	—	—	—	—	—
Зоны влияния нефтяных и газовых промыслов	+	+	+	—	—	+	—	—	—	—
Зоны влияния транспортных магистралей	+	+	+	+	—	—	+	+	—	—
Плотность сельского населения, чел./км ² :										
более 25	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10—25	—	+	—	+	—	—	+	—	—	—
1—10	—	—	+	—	+	—	—	+	+	—
менее 1	—	—	—	—	—	+	—	—	—	+
Населенные пункты городского типа:										
многочисленные	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—
малочисленные	—	—	+	—	+	+	+	+	Отсутствуют	

Примечание. 1—10 — условные обозначения на рис. 13.

дами низких ступеней регионального метаморфизма, и метаморфический складчатый, сложенный сильно метаморфизованными образованиями, в большинстве докембрийскими).

Сочетание комплексов дает возможность выделить 19 типов районов (табл. 44), основные из которых изображены на рис. 14.

ТАБЛИЦА 44

Классификация районов проведения РГС по ярუსности

Группы районов	Типы районов	Комплексы			
		Четвертичный	Покровный		Складчатый
			осадочный	вулканогенный	
Одно-ярусные	Ч	+	—	—	—
	П _о	—	+	—	—
	П _в	—	—	+	—
	С	—	—	—	—
Двух-ярусные	ЧП _о	+	+	—	—
	ЧП _в	+	—	+	—
	ЧС	+	—	—	+
	П _о П _в	—	+	+	—
	П _о С	—	+	—	+
	П _в П _о	—	+	+	—
Много-ярусные	П _в С	—	—	+	+
	ЧП _о П _в	+	+	+	—
	ЧП _в П _о	+	+	+	—
	ЧП _о С	+	+	—	+
	ЧП _в С	+	—	+	+
	П _о П _в С	—	+	+	+
	П _в П _о С	—	+	+	+
	ЧП _о П _в С	+	+	+	+
ЧП _в П _о С	+	+	+	+	

Примечание. Выделены типы районов, встречающиеся в практике РГС.

Принадлежность того или иного конкретного района к тому или иному типу по ярусности кроме геологического строения и условий залегания объектов работ (и в первую очередь полезных ископаемых) во многом зависит от экономической освоенности района. В слабо освоенных малоблагоприятных районах детальное изучение погребенных образований или объектов, залегающих на значительной глубине или под покровом осадочных образований значительной мощности, экономически неоправдано.

Тип полезного ископаемого. Для определения общих особенностей методики РГС достаточно выделять следующие группы полезных ископаемых: а) нефть и газ, б) твердые

осадочные полезные ископаемые, в) твердые эндогенные полезные ископаемые, г) твердые осадочно-метаморфические полезные ископаемые, д) полезные ископаемые кор выветривания, е) стройматериалы. Различие агрегатного состояния вещества и общие различия формы тел полезного ископаемого получают в этой классификации достаточное для общего рассмотрения отражение.

При определении глубины изучения известную роль играет и ценность полезного ископаемого: чем она выше, тем ббльшая

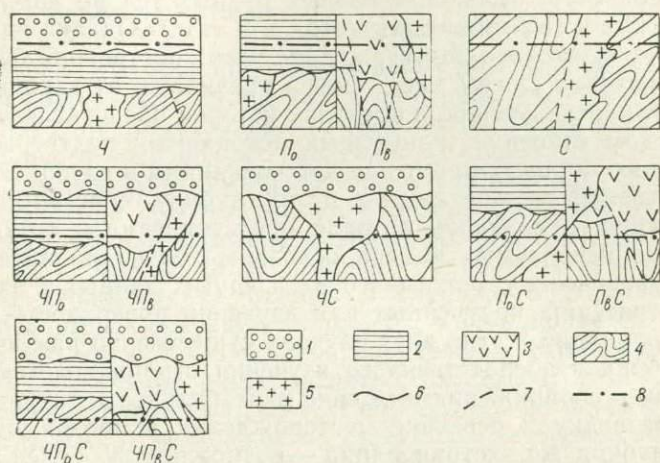


Рис. 14. Основные типы районов по ярусности.

1—4 — комплексы пород: 1 — четвертичный, 2 — покровный осадочный, 3 — покровный вулканогенный, 4 — складчатый; 5 — интрузии; 6 — границы комплексов; 7 — разрывы; 8 — глубина непосредственного изучения.

глубина изучения допустима. Для характеристики относительной важности различных полезных ископаемых приведем условные оценки их в баллах для условий Сибири: алмазы — 20, золото — 18, нефть — 16, газ — 12, руды цветных и редких металлов — 10, титаномагнетиты — 8, слюда, графит, асбест — 7, алюминиевые и марганцевые руды — 6, железные руды, уголь, соль — 4, минеральные стройматериалы — 2, питьевая вода — 1 [54].

Глубина изучения района [16] зависит от типа района по ярусности, типа полезного ископаемого, рельефа, экономических условий и геологической изученности района.

Понятие глубины изучения появилось из следующего требования: «Комплекс исследований, применяемых при геологосъемочных работах, должен обеспечивать выяснение перспектив на основные для данного района виды полезного ископаемого до определенной глубины, при которой экономически целесооб-

разна их эксплуатация, а также возможны и экономически оправданы поиски основных видов полезных ископаемых с помощью современных методов с минимальными затратами» [95, с. 6].

Во многих случаях представление о глубинном геологическом строении и полезных ископаемых можно с точностью и достоверностью, удовлетворяющей решению задач РГС (даже масштабов 1:50 000 и 1:25 000), иметь путем экстраполяции данных, полученных при изучении поверхности (построение структурных карт погребенных горизонтов по геологическим наблюдениям на поверхности, выявление слепых рудных тел по данным геофизических и геохимических методов и т. п.). Однако во многих случаях обязательно подтверждение таких построений бурением. В соответствии с этим имеет смысл различать: а) глубину непосредственного изучения, в пределах которой представления о геологическом строении и полезных ископаемых подтверждаются с помощью буровых работ или наблюдениями в глубоких врезках долин, горных выработках и т. п.; б) глубину геологической экстраполяции, в пределах которой представления о структуре и полезных ископаемых района основаны только на интерпретации геофизических, геохимических и других данных и экстраполяции сведений, полученных при изучении поверхности. Достоверность знаний в этих двух случаях существенно различна.

Глубина непосредственного изучения ограничивается экономическими соображениями в виде рентабельности затрат на поиски, разведку и освоение месторождения в обозримом будущем, глубина же экстраполяции — возможностью более или менее уверенной интерпретации и экстраполяции вне зависимости от экономических соображений настоящего момента.

В общем случае глубина непосредственного изучения должна устанавливаться на уровне реального начала эксплуатации месторождений в данном районе. В этом случае положение аналогично разведке месторождения значительной вертикальной протяженности: «Оконтуривание подобных месторождений на глубине должно производиться опять-таки по частям, в соответствии с технической доступностью и экономической целесообразностью» [88, с. 23]. Из этого очевидно, что глубина непосредственного изучения перспективных участков должна быть больше, чем для всей остальной площади. В открытых районах это может приводить к тому, что весь район изучается наблюдениями с поверхности, а для перспективных участков необходимо изучение буровыми скважинами (например, в Казахстане).

При решении вопроса о детальности изучения глубинных горизонтов необходимо учитывать, что на одной и той же стадии геологоразведочного процесса детальность изучения увеличивается по мере увеличения глубины, а равная детальность изучения разных глубин достигается только при последовательном приближении к ним на разных стадиях геологоразведочного про-

цесса. Положение при РГС в этом случае близко к положению при разведке месторождений, когда для глубинных горизонтов «... в ряде случаев следует считать достаточным лишь общее установление геологической структуры на глубину путем бурения значительно более редкой, чем это принято для разведки верхних горизонтов, сети скважин» [88, с. 22]. Применительно к решению задач РГС в качестве редкой сети скважин используются материалы геофизических и геохимических исследований и т. п.

Типовые комплексы методов

Типизация условий проведения работ для определения типовых КМ может быть осуществлена на основе: а) классификации по ярусности и представлений о группах полезных ископаемых, изложенных в предыдущих разделах, б) совместного использования классификации по ярусности, экономической освоенности и представлений об обстановках, благоприятных для локализации месторождений полезных ископаемых [74, 118]. Далее приведены КМ, применимые главным образом для крупномасштабных геологических съемок и глубинного геологического картирования как основных видов РГС в ближайшие 10—15 лет. Эти же КМ могут быть основой определения КМ и при геологическом доизучении ранее заснятых площадей и обновлении геологических карт. Типовые КМ определены на основе литературных данных о возможностях отдельных методов и КМ, применявшихся в различных районах (список литературы до 1968 г. приведен в работе автора [17], более поздние работы насчитывают многие сотни наименований, в связи с чем в список литературы включены лишь отдельные обзорные работы [6, 7, 11, 15, 24, 29, 32—36, 38, 45, 46, 50, 55—61, 63, 68, 69, 73—75, 78, 80—83, 91, 92, 94—97, 99, 106, 108, 112, 114, 118, 153, 156, 158]).

Типовые КМ для районов различной ярусности с различными группами полезных ископаемых изображены на рис. 15, 16. В них не включены гидрогеологические и инженерно-геологические исследования, необходимые в районах ожидаемого освоения. При изучении нескольких комплексов разреза общий КМ составляется объединением соответствующих КМ.

Типовые КМ изучения геологических обстановок, благоприятных для локализации месторождений полезных ископаемых, приведены в табл. 45. Типы обстановок [118] детализированы в зависимости от ярусности и освоенности района (при этом под названием освоенные объединены районы благоприятные и средней благоприятности по табл. 43).

Все приведенные КМ ориентировочны и должны изменяться и дополняться в зависимости от конкретной обстановки.

Геологические условия	Полезные ископаемые	Тип района по яркости	Степень промышленного освоения	Геофизические методы						Геохимические методы										Геологические методы												
				Сейсморазведка	Гравитразведка	Магниторазведка		Электроразведка			Взвешивание	ЭП	Изучение коренных пород	Поисковые					Шлифовые	Радиометрические		Минералогические	Петрографические	Стратиграфические	Тектонические	Фациальные	Формационные	Визуальные наблюдения	Аэрогеологические	Космические		
						воздушная	наземная	воздушная	профилирование	зонлирование				по первичным ореолам	по вторичным ореолам	по потокам в осадках	по потокам в водах	биохимические		атомохимические	воздушные										наземные	
Метаморфические комплексы с широким развитием железисто-кремнистых пород при наличии метавулканитов или терригенно-карбонатных отложений	Железо, уран	С С	Освоен Не освоен	д	оо	оо	пп	пп	п	д	д	пп	пп	пп	пп	п	пд	п	оо	пп	кк	кк	пк	кк	пк	к	к	пп	пп	к		
				д	д	оо	пд	оо	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	кк	кк	пк	кк	пк	к	к	пп	пп	к	
				п	оо	оо	пп	п	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо	оо
Интенсивно, метаморфизованные сланцы, гнейсы, кварциты и мраморы	Марганец	С С	Освоен Не освоен		о	оо		оо	д			пп		пд					оо	пп	к	кк	пк	кк	кк	к	к	пп	пп	к		
					оо	оо	пп		д	оо											оо	пп	к	кк	пк	кк	кк	к	к	пп	пп	к
				оо	оо	пп		д	оо													к	к	пк	кк	кк	к	к	пп	пп	к	
Слабо метаморфизованные терригенно-доломитовые толщи	Медь, уран, кобальт	С С	Освоен Не освоен	д	оо	оо	пп	оо	пд	д	д	пп	пд	пд	пд	пд	пд	оо	пд	кк	к	п	кк	пк	к	к	пп	пп	к			
				д	оо	оо	пп	оо	пд	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	кк	к	п	кк	пк	к	к	пп	пп	к		
				пд	оо	оо	пп	оо	пп	оо	пп	оо	д	д	д	д	д	д	д	д	кк	к	п	кк	пк	к	к	пп	пп	к		
Слабо метаморфизованные породы различного состава	Золото, уран и др.	С С	Освоен Не освоен	д	оо	оо	пп	оо	пп		д	д	пп	пд	пд	пд	оо	пд	к	кк	к	пк	к	к	к	к	пп	пп	к			
				д	оо	оо	пп	оо	пп		д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	к	кк	к	пк	к	к	к	пп	пп	к		
				пд	оо	оо	пд		пп		д	д	д	д	д	д	д	д	д	д	к	кк	к	пк	к	к	к	пп	пп	к		
Комплексы пород, содержащих колчеданные руды	Медь, золото, свинец, цинк и др.	С С	Освоен Не освоен	д	оо	оо	пп	оо	п		д	д	пп	пд	пд	пд	оо	п	к	кк	к	пк	кк	к	к	к	пп	пп	к			
				д	оо	оо	пп	о	п	оо		д	д	д	д	д	д	д	д	д	к	кк	к	пк	кк	к	к	пп	пп	к		
				д	оо	п	пд	о	д	п		д	д	д	д	д	д	д	д	д	к	кк	к	пк	кк	к	к	пп	пп	к		

Геологические условия	Полезные ископаемые	Тип района по яркости	Степень промышленного освоения	Геофизические методы						Геохимические методы										Геологические методы											
				Сейсморазведка	Гравиразведка	Магниторазведка		Электроразведка		БП	ЕП	Изучение коренных пород	Поисковые						Радиометрические		Минералогические	Петрографические	Стратиграфические	Тектонические	Фациальные	Формационные	Визуальные наблюдения	Аэрогеологические	Космические		
						воздушная	наземная	воздушная	профилирование				зондирование	по первичным ореолам	по вторичным ореолам	по потокам в осадках	по потокам в водах	биогеохимические	атомногеохимические	Шликовые										воздушные	наземные
						о	д	о	д				о	д	п	д	п	д	п												
Гранитоидные интрузивы	Железо, бор, вольфрам, молибден, мышьяк, олово, флюорит	С С ЧС, П ₀ С, ЧП ₀ С, П _в С	Освоен	д	оо	оо	пд	оо	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	к	пк	к	к	к	п	п	к
			Неосвоен	д	оо	оо	д	о	д	о	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	к	пк	к	к	к	п	п
Малые интрузивные тела в терригенно-карбонатных породах	Золото, олово, свинец, цинк, сурьма, ртуть, мышьяк, флюорит	С С ЧС, П ₀ С, ЧП ₀ С	Освоен	д	оо	оо	пд	оо	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	к	пк	к	к	к	п	п	к
			Неосвоен	д	оо	оо	д	оо	д	д	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	кк	пк	кк	к	к	п	п
Флишеидные толщи, прорванные гранитоидными интрузиями, иногда с пегматитами или аляскитами	Олово, вольфрам, золото, хрусталь, бериллий, тантал, ниобий	С С ЧС, П ₀ С, ЧП ₀ С	Освоен	д	оо	оо	д	оо	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	кк	пк	пк	к	к	п	п	к
			Неосвоен	д	оо	оо	д	оо	д	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	кк	пк	пк	к	к	п	п
Вулканы орогенного класса формаций	Медь, свинец, цинк, золото, олово, флюорит, молибден, вторичный кварцит	П _в П _в ЧП _в , П ₀ П _в , ЧП ₀ П _в	Освоен	п	оо	оо	пд	оо	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	пк	пк	п	к	п	п	к	
			Неосвоен	п	о	оо	д	оо	д	д	д	д	д	п	п	п	п	п	п	п	оо	п	к	кк	пк	пк	п	к	п	п	к
Освоен	п	оо	оо	пд	о	д	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	п	о	п	к	кк	пк	пк	п	к	п	п	п	к	

Геологические условия	Полезные ископаемые	Тип района по яркости	Степень промышленного освоения	Геофизические						методы		Геохимические методы							Геологические методы												
				Сейсморазведка	Гравиразведка	Магнито-разведка		Электрораз-		ВП	ЕП	Изучение коренных пород	Поисковые					Радиометрические		Минералогические	Петрографические	Стратиграфические	Тектонические	Фациальные	Формационные	Визуальные наблюдения	Аэрогеологические	Космические			
						воздушная	наземная	воздушная	наземная				по первичным ореолам	по вторичным ореолам	по потокам в осадках	по потокам в водах	биогеохимические	атмогеохимические	Шлиховые										воздушные	наземные	
																															профилировальные
Зоны глубинных разломов	Ртуть, сурьма, мышьяк, флюорит	С, П _в , С, П _в ЧС, ЧП _в , П _о С, П _о П _в , ЧП _о С	Освоен Не освоен Освоен	оо оо	оо оо	пд д	оо о	д	п	п	пд пд	д д	пп п	пп пд	дд дд	п пп	пп пд	д д	пд пд	оо о	пп пп	к к	кк кк	к к	пк пк	к к	к к	к к	пп пп	пп пп	к к
Межгорные, краевые и наложенные вулканогенные прогибы. Дифференцированные осадочно-вулканогенные комплексы с большим количеством кислых пород	Свинец, цинк, медь, золото, серебро, олово, ртуть, алуниты, теллур, селен	П _в П _в ЧП _в , П _о П _в , ЧП _о П _в	Освоен Не освоен Освоен	п п	оо оо	оо д	оо оо	д	п	п	пд пд	д д	пп п	пп д	дд дд	п пп	пп д	д д	пд пд	оо оо	пп пп	к к	кк кк	пк пк	кк кк	пк пк	к к	к к	пп пп	пп пп	к к
Коры выветривания	Алюминий, никель, каолины, пигменты и др.	П _о	Освоен	д	оо	пд			пп		д	д	п	п	дд	п	пп	п	д	оо	п	кк	к	пп	к	пп	к	пп	пп	к	
Россыпи аллювиальные, делювиальные и морские	Олово, золото, алмазы, драгоценные камни, платина	Ч, П _о Ч, П _о	Освоен Не освоен	п	п	п	о		пп п						п	п		пп пп		пп пп		кк	к	пк пк	к к	пп пп	к к	пп пп	пп пп	п п	
Речные, озерные и болотные отложения	Алюминий, железо, марганец, бурые и каменные угли	Ч, П _о Ч, П _о ЧП _о	Освоен Не освоен Освоен	о					п						п	п		п	о	п	пк пк	к к	пк пк	к к	пп пп	к к	пп пп	пп пп	к к		

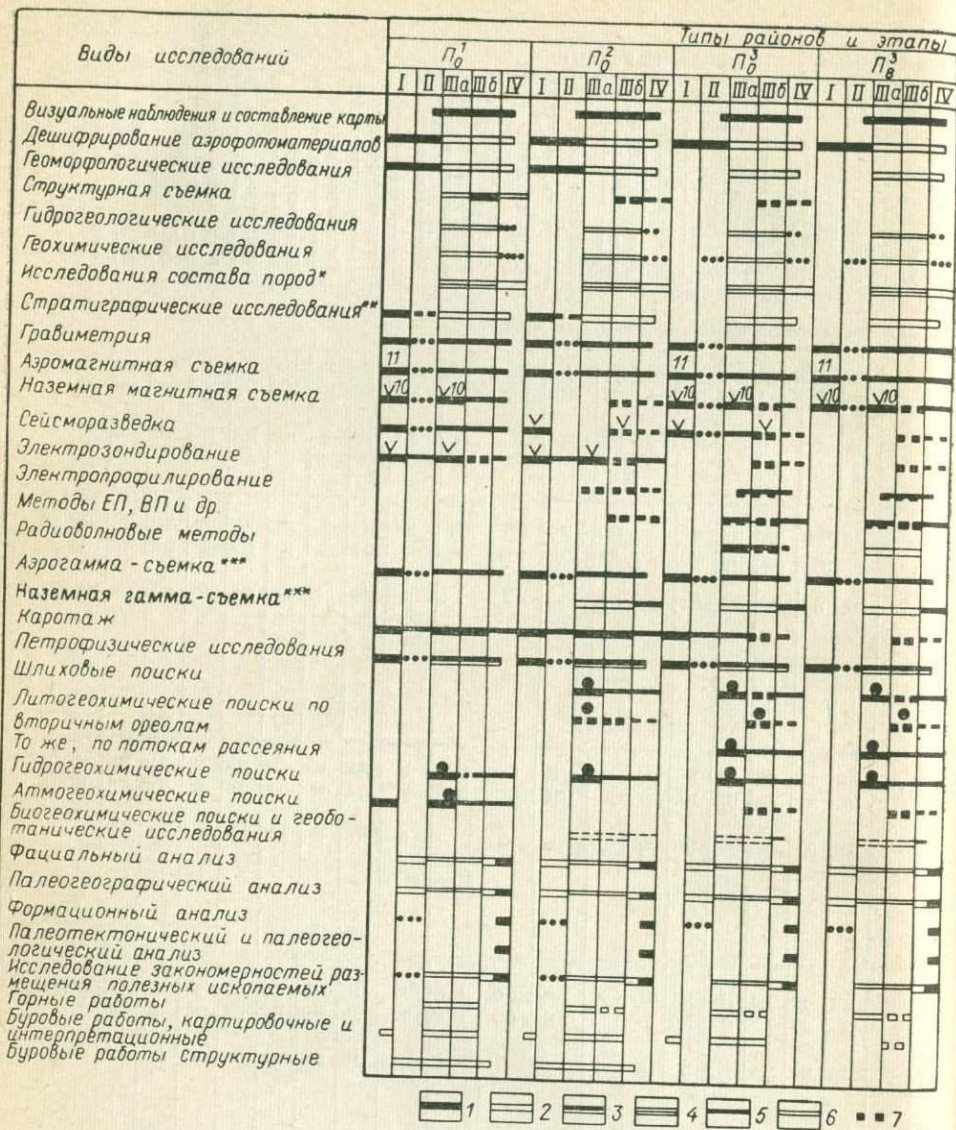
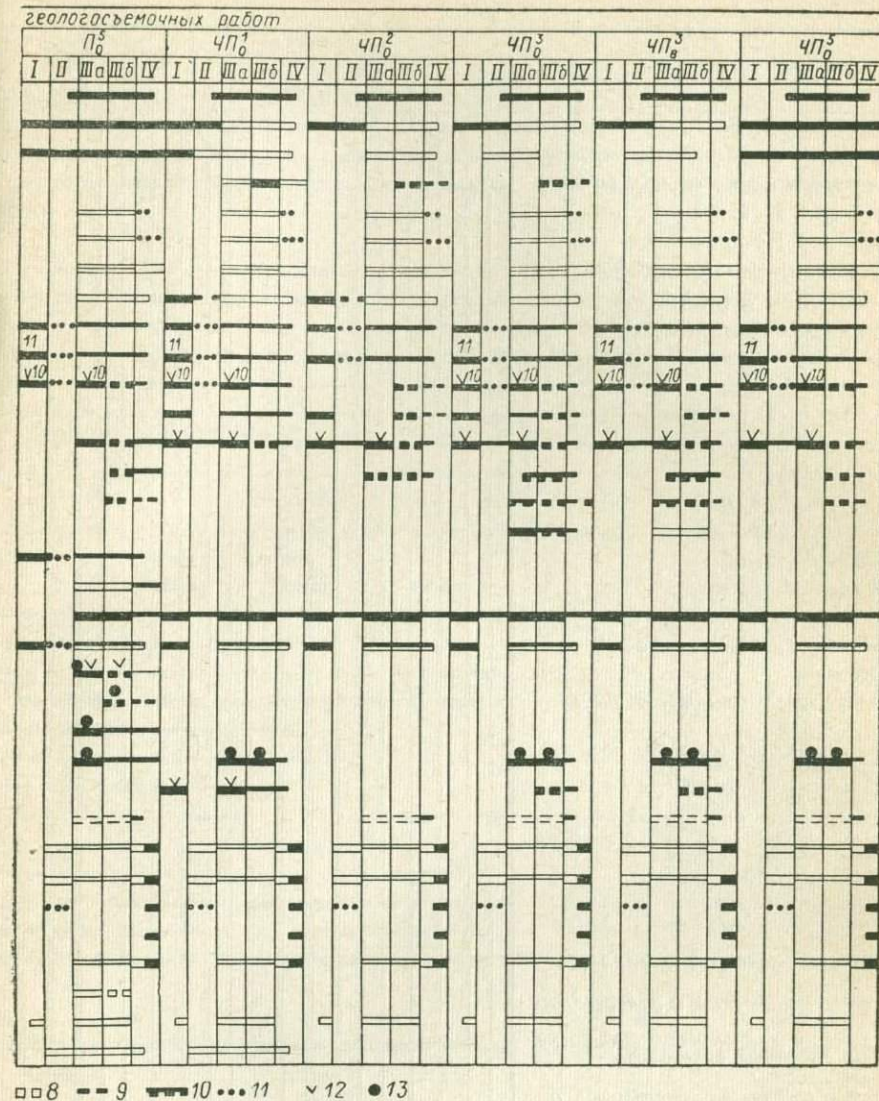


Рис. 15. Типовые КМ при изучении покровных образований.

1-6 — исследования проводятся во всем районе: 1 — метод применяется самостоятельно, 2 — наблюдения и первичная обработка материалов, 4 — проводятся полевые наблюдения, 5 — ление геологической карты и поиски полезного ископаемого, 9 — при составлении геологии применяется самостоятельно во всем районе или на отдельных участках; 11 — проводится 13 — метод опережает составление геологической карты в пределах этапа. Цифры над зна
Комплексы пород: Ч — четвертичный, П₀ — покровный осадочный, П_в — покровный вулкан
са комплекса): 1 — нефть и газ, 2 — твердые осадочные, 3 — магматогенные и метаморфо
Этапы геологосъемочных работ: I — подготовка площади, II — проектирование и подготови
* Петрографические, литологические и минералогические исследования. ** Стратиграфиче
раста. *** Включают гамма-спектрометрические методы.



□ 8 --- 9 ▬ 10 ... 11 √ 12 ● 13

метод постоянно сопровождает составление геологической карты, 3 — проводятся полевые
при составлении геологической карты используются результаты, 6 — проводятся только
дельных участках: 7 — метод применяется самостоятельно, 8 — метод сопровождает состав
ческой карты и поисках используются результаты ранее проведенных работ; 10 — метод
только интерпретация; 12 — метод может применяться на любом из отмеченных этапов;
ком: 10 — может заменяться более детальной аэромагнитной съемкой; 11 — то же, наземной

генный, С — складчатый. Группы полезных ископаемых (обозначены сверху справа у индек
генные, 4 — осадочно-метаморфогенные, 5 — коры выветривания.
тельные работы, III — полевые работы (IIIa и IIIб — начальная и конечная стадии), IV —
ские, палеонтологические и палеомагнитные исследования и определения абсолютного воз-

Виды исследований	$\Pi_a C^2, 4\Pi_a C^2$				$\Pi_b C^3, 4\Pi_b C^3$				$\Pi_a C^4, 4\Pi_a C^4$				$\Pi_b C^5, 4\Pi_b C^5$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Визуальные наблюдения и составление карты																
Дешифрирование аэрофотоматериалов																
Геоморфологические исследования																
Структурная съемка		■	■	□		■	■	□		■	■	□				
Структурный анализ										■	■	■				
Гидрогеологические исследования																
Геохимические исследования			
Исследования состава пород*																
Стратиграфические исследования**																
Гравиметрия																
Аэромагнитная съемка																
Наземная магнитная съемка							11					11				
Сейсморазведка	У	У	●	■	У	У	●	■	У	У	●	■	У	У	●	■
Электроразведка																
Электропрофиллирование																
Методы ЕП, ВП и др.																
Радиоволновые методы																
Аэрогамма-съемка***																
Наземная гамма-съемка***																
Картаж																
Петрофизические исследования																
Шлиховые поиски																
Литогеохимические поиски по вторичным ореолам																
Литогеохимические поиски по потокам рассеяния																
Гидрогеохимические исследования																
Биогеохимические поиски и геоботанические исследования																
Атмогеохимические поиски																
Фацциальный анализ																
Формационный анализ																
Палеогеографический анализ																
Палеотектонический и палеогеологический анализ																
Исследование закономерностей размещения полезных ископаемых																
Горные работы																
Буровые работы, картировочные и интерпретационные																
Буровые работы, структурные и структурно-профильные																

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агошков М. И. Анализ экономической эффективности затрат на геологоразведочные работы. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1976, № 1, с. 164—171.
2. Агошков М. И., Хрущов Н. А. Критерии экономической эффективности геологоразведочных работ. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 12, с. 35—42.
3. Агошков М. И., Перваго В. А., Хрущов Н. А. Цена разведанных запасов полезных ископаемых. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 5, с. 25—29.
4. Акофф Р., Сасиени М. Основы исследований операций. Пер. с англ. М., «Мир», 1971. 534 с.
5. Апродов В. А. Геологическое картирование. М., Госгеолиздат, 1952. 372 с.
6. Аристов В. В. Поиски полезных ископаемых. М., «Недра», 1975. 253 с.
7. Аэрометоды геологических исследований. Л., «Недра», 1971. 704 с.
8. Берлянт А. М. О свойствах картографической модели. — «Изв. Всесоюз. геол. о-ва», 1973, т. 105, вып. 4, с. 327—332.
9. Бергаланфи Л. История и статус общей теории систем. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник, 1973. М., «Наука», 1973, с. 20—37.
10. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход: предпосылки, проблемы и трудности. М., «Знание», 1969. 47 с.
11. Борисенко С. Г., Галицкий Л. С., Мицкевич Б. Ф. Состояние и задачи геохимических исследований на Украине. — «Геол. журнал», 1971, т. 31, вып. 1, с. 117—125.
12. Боровиков Л. И. О точности, истинности и достоверности в геологии. — В кн.: Проблемы развития советской геологии. Л., 1972, с. 300—313. (Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та, новая серия, т. 177).
13. Боровко Н. Н. Применимость и эффективность различных схем распознавания в типичных геологических задачах. — «Методы развед. геофизики», 1972, вып. 15, с. 5—14.
14. Боровко Н. Н., Мишин Л. Т., Латикайнен В. И. Некоторые особенности применения количественных методов при крупномасштабном прогнозировании. — «Методы развед. геофизики», 1974, вып. 24, с. 94—96.
15. Бродовой В. В., Караев Н. А. Современное состояние и пути развития сейсморазведки на твердые полезные ископаемые. — «Развед. геофизика», 1974, вып. 64, с. 3—11.
16. Бурдэ А. И. Об определении глубинности изучения при крупномасштабных геологосъемочных работах. — «Сов. геология», 1971, № 10, с. 124—130.
17. Бурдэ А. И. Принципы и методика определения рационального комплекса исследований. — В кн.: Методические указания по геологической съемке масштаба 1 : 50 000, вып. 13. Л., «Недра», 1972. 137 с.
18. Бурдэ А. И. Неопределенность в геологических процессах и геодинамика. — В кн.: Внутренняя геодинамика, вып. 3. Л., 1972, с. 61—63.

19. Бурдэ А. И. Оценка степени опоскованности территории в свете задач прогнозирования месторождений полезных ископаемых. — В кн.: Прогнозирование месторождений полезных ископаемых при региональных геологических исследованиях. Л., 1973, с. 11—16.
20. Бурдэ А. И. Качество региональных геологосъемочных исследований. — «Экспресс-информация. Общая и региональная геология, геол. картирование», 1975, № 12, с. 1—18.
21. Бурдэ А. И. Системы сбора и обработки информации при геологосъемочных работах, основанные на применении ЭВМ. — «Экспресс-информация. Общая и региональная геология, геол. картирование», 1976, № 6, с. 1—16.
22. Бурдэ А. И., Еремин В. К., Кумпан А. С. Научно-технический прогресс в региональных геологосъемочных исследованиях. М., 1974. 19 с.
23. Бурдэ А. И., Литвин П. А., Рыбаков М. Б. Использование количественных оценок при разработке методики глубинного геологического картирования. — «Сов. геология», 1974, № 6, с. 116—120.
24. Вахромеев Г. С. Основы методологии комплексирования геофизических методов при решении геологических задач. Иркутск, 1975. 40 с.
25. Венгцель Е. С. Исследование операций. М., «Сов. радио», 1972. 552 с.
26. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965. 374 с.
27. Взаимодействие наук при изучении Земли. М., Изд-во АН СССР, 1962. 326 с.
28. Гельтман Л. С., Дуденко Л. Н. Количественные методы прогнозирования и планирование поисково-разведочных работ. — В кн.: Теоретические основы разведки. Л., 1973, с. 176—184.
29. Геология меднопорфировых месторождений. Алма-Ата, 1971. 125 с.
30. Геологический словарь. Т. 1. 2-е изд. М., «Недра», 1973. 486 с.
31. Геология и математика. Новосибирск, «Наука», 1967. 253 с.
32. Геофизические методы разведки в Арктике. Л., 1975. 163 с. (Тр. Науч.-исслед. ин-та геологии Арктики, вып. 10).
33. Геофизические исследования при крупномасштабном картировании и прогнозировании месторождений. Л., 1976. 220 с.
34. Геофизические и геохимические методы поисков и оценки эндогенных месторождений олова. Л., «Недра», 1974. 224 с.
35. Геофизические поиски рудных месторождений. М., «Недра», 1973. 210 с.
36. Геохимические поиски. Науки о Земле, т. 55. М., «Мир», 1973. 327 с.
37. Голдман С. Теория информации. М., ИЛ, 1957. 345 с.
38. Гольденберг Е. С., Македон В. Б., Костюкова Н. Н. Геофизические исследования при крупномасштабных геологосъемочных работах. Алма-Ата, 1970. 214 с.
39. Горохов В. Г. К проблеме рассмотрения науки как системы. — В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1973 г. М., «Наука», 1973, с. 135—142.
40. Гридин В. И., Гирилович Л. С., Шевченко А. В. Методика переноса геологических границ и точек с аэрофотоснимков на топографическую основу и редуцирование морфометрических карт. — В кн.: Материалы IV конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, «Полымя», 1971, с. 263—265.
41. Губерман Ш. А. Решение геологических задач с помощью программ распознавания. М., 1967. 18 с.
42. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев П. Ф. Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений. — «Геология и геофизика», 1968, № 5, с. 50—64.
43. Драгунов В. И., Айнемер А. И., Васильев В. И. Основы анализа осадочных формаций. Л., «Недра», 1974. 159 с.
44. Дуденко Л. Н. Теория и практика количественной оценки рудоносности территории. — В кн.: Применение современных математических методов и ЭВМ в области геологии в странах-членах СЭВ. Алма-Ата, 1973, с. 79—93.

45. *Духовский А. А., Илаев М. Г., Кронидов И. И.* Геофизические исследования. — В кн.: Методические указания по геологической съемке масштаба 1 : 50 000, вып. 7. Л., «Недра», 1970. 375 с.
46. *Еремеев А. Н., Скороспелкин С. А.* Методика глубинных геохимических поисков рудных месторождений. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений. М., «Недра», 1972, с. 105—115.
47. *Еремеев А. Н., Королева З. Е., Модников И. С.* Геологические факторы, определяющие редкометалльное оруденение в вулканогенных покровах. — «Сов. геология», 1974, № 11, с. 67—78.
48. *Еремин В. К.* Пути повышения экономической эффективности региональных геологосъемочных работ. М., «Недра», 1973. 30 с.
49. *Еремин В. К., Мусатов Д. И., Юон О. И.* Пути определения эффективности геологосъемочных работ (что такое эффективность геологической съемки и как ее определять). — В кн.: Обмен опытом по повышению экономического эффекта всех видов региональных геологических работ на основе внедрения порайонных комплексных расчленок. Красноярск, 1975, с. 3—19.
50. *Желамков В. А., Столпнер М. Н.* Проведение геофизических работ при изучении металлогении рудных районов. Методические рекомендации. Л., 1972. 147 с.
51. *Заворотных И. Р.* Определение оптимальной сети скважин с целью обнаружения вторичных глубинных ореолов рассеяния свинца и цинка. — «Изв. Забайкальск. филиала Георг. о-ва СССР», 1968, т. 4, вып. 6, с. 151—162.
52. *Заворотных И. Р., Напартэ В. А.* К методике обоснования плотности сети геохимического опробования. — В кн.: Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья, вып. 10. Чита, 1973, с. 102—104.
53. *Зайцев В. Е.* Об оценке геолого-экономической эффективности геофизических поисков (на примере медноколчеданных месторождений района Передового хребта Северного Кавказа). — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1973, № 8, с. 142—149.
54. *Зайцев И. Ф., Изюмский О. А.* Природные ресурсы на службу экономическому прогрессу. М., «Мысль», 1972. 136 с.
55. *Златогорская И. П., Эгель Л. Е.* Рациональные комплексы геологических, геофизических и геохимических поисков и этапы поисков скрытых (слепых) рудных тел некоторых важнейших твердых полезных ископаемых. М., 1974. 51 с.
56. *Засухин Г. Н.* К методике геохимических поисков перекрытых колчеданных месторождений на Южном Урале по вторичным ореолам рассеяния. — В кн.: Литогеохимические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1969, с. 231—234.
57. *Иванов В. В., Мейтув Г. М.* Геолого-геохимические исследования рудных провинций. М., «Недра», 1972. 288 с.
58. *Иванов Ю. Г., Коногоров Г. С.* Количественная оценка информативности поисковых признаков на эндогенное оруденение. — «Сов. геология», 1971, № 2, с. 115—126.
59. *Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ в масштабе 1 : 200 000 и 1 : 100 000.* М., Госгеолиздат, 1955. 128 с.
60. *Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений.* М., «Недра», 1965. 227 с.
61. *Караев Н. А., Деткова Н. А., Прокатор О. М.* Сейсмический метод отраженных волн в рудных районах. — «Методы развед. геофизики», 1972, вып. 19, с. 39—43.
62. *Канторович Л. В., Горстко А. Б.* Оптимальные решения в экономике. М., «Наука», 1972. 231 с.
63. *Квятковский Е. М.* Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Л., 1973. 53 с.
64. *Кедров Б. М.* Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., Изд-во АН СССР, 1962. 411 с.

65. *Клушин И. Г., Соловейчик Р. Э.* Оптимизация отбора информации, заключенной в показаниях нескольких методов. — «Зап. Лен. горн. ин-та», 1966, т. 50, вып. 2, с. 49—52.
66. *Коваленко В. Ю., Настенко А. А.* Особенности проведения глубинного картирования масштаба 1:50 000 в закрытых районах. — В кн.: Перспективы расширения минерально-сырьевой базы юга Украины. Днепропетровск, 1972, с. 160—162.
67. *Козлов Е. А.* Оценка геологической эффективности геофизических методов при поисках структур. — «Прикладная геофизика», 1968, вып. 55, с. 3—16.
68. *Комаров В. Б., Старостин В. А.* Использование радиолокационной съемки для решения геологических задач. — «Экспресс-информация. Общая и региональная геология, геол. картирование», 1974, № 3, с. 1—9.
69. *Комплекс методов, применяемых при металлогеническом изучении закрытых территорий и при поисках оруденения, не выходящего на поверхность.* — В кн.: Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 35—57. Авт.: Н. А. Беляевский, И. В. Петровская, А. П. Соловов и др.
70. *Копнин П. В.* Введение в марксистскую гносеологию. Киев, «Наукова думка», 1966. 287 с.
71. *Косов Б. М., Каганович С. Я.* Экономическая эффективность затрат на геологоразведочные работы в СССР в 1959—1965 гг. — В кн.: Сборник научных статей ВИЭМС. М., 1967, с. 171—181.
72. *Косыгин Ю. А.* Основы тектоники. М., «Наука», 1974. 214 с.
73. *Красников В. И.* Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965. 309 с.
74. *Крейтер В. М.* Поиски и разведка полезных ископаемых. М., «Высшая школа», 1968. 201 с.
75. *Кунин Н. Я.* Комплексирование геофизических методов при геологических исследованиях. М., «Недра», 1972. 270 с.
76. *Лахи Ф.* Полевая геология. Пер. с англ. М., «Мир», 1966. 482 с.
77. *Леонов Г. П.* Основы стратиграфии. Т. 1. М., Изд-во МГУ, 1973. 530 с.
78. *Литохимические поиски рудных месторождений.* Алма-Ата, 1972. 359 с.
79. *Любимов Г. А., Любимов А. А.* Определение оптимальной сети гравимангнитных съемок. — «Прикладная геофизика», 1971, вып. 64, с. 168—176.
80. *Методические рекомендации по интерпретации геофизических материалов при крупномасштабном геологическом картировании.* Свердловск, 1974. 218 с. Авт.: Е. М. Ананьева, Б. В. Дорофеев, Е. Б. Гороневич и др.
81. *Методическое руководство по геологической съемке и поискам.* Под ред. С. А. Музылева. М., Госгеолтехиздат, 1954. 508 с.
82. *Методические руководство по геологической съемке масштаба 1:50 000.* Под ред. А. С. Кумпана. Л., «Недра», 1974. 1123 с.
83. *Методическое руководство по гидрогеохимическим методам поисков рудных месторождений.* М., «Недра», 1973. 184 с.
84. *Методы количественного прогнозирования.* Алма-Ата, 1975. 104 с.
85. *Методы поисков урановых месторождений.* М., «Недра», 1969. 392 с.
86. *Михайлов Г. Н.* Анализ геологической эффективности метода вызванной поляризации и некоторые способы ее повышения при поисках полиметаллических месторождений. М., 1974. 22 с.
87. *Моделирование процесса анализа геолого-геофизической информации на ЭВМ.* Под ред. Г. И. Каратаева. Минск, 1973. 185 с.
88. *Молчанов И. И.* Против формализма в методике разведки. — «Разведка и охрана недр», 1953, № 2, 25—28 с.
89. *Моссур П. М., Петунин П. А.* Пути повышения экономической эффективности геофизических исследований в Казахстане. Алма-Ата, 1967. 187 с. (Тр. Казах. политехн. ин-та, № 27).
90. *Никитин С., Чернышев Ф.* Международный геологический конгресс и его последние сессии в Берлине и Лондоне. — «Горный журнал», 1889, № 1, с. 115—150.

91. *Новицкий Г. П.* Комплексирование геофизических методов разведки. Л., «Недра», 1974. 256 с.
92. *Новые* методы получения информации различными дистанционными приемниками и ее обработки для решения геологических задач. М., 1972. 68 с. (Экспресс-информация. Общая и региональная геология, геол. картирование, № 6).
93. *Основные* методические положения определения экономической эффективности научно-исследовательских работ. М., «Экономика», 1964. 56 с.
94. *Основные* положения организации и проведения глубинного геологического картирования. М., 1976. 40 с.
95. *Основные* положения организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). М., «Недра», 1968. 56 с.
96. *Основные* положения организации и производства групповой геологической съемки и аэрофотогеологического картирования масштаба 1 : 200 000. М., «Недра», 1973. 46 с.
97. *Попов В. В.* Методические рекомендации по определению оптимального комплекса геофизических измерений в углеразведочных скважинах. Ростов-на-Дону, 1974. 38 с.
98. *Поспелов Г. Л.* Проблемы метода познания в геологии. — В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., «Наука», 1968, с. 187—196.
99. *Разведочная* геофизика СССР на рубеже 70-х годов. Под ред. В. В. Федынского. М., «Недра», 1974. 780 с.
100. *Родионов Д. А.* Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., «Недра», 1968. 158 с.
101. *Рувинский Л. Л.* К методике выбора рационального комплекса геолого-геофизических исследований для поисков локальных структур в Западно-Сибирской низменности. — В кн.: Проблемы освоения Западно-Сибирской нефтегазопровинции. Новосибирск, 1966, с. 67—73.
102. *Рундквист Д. В., Васильев В. И.* Прогнозно-металлогенические исследования при геологосъемочных работах. — В кн.: Прогнозирование месторождений полезных ископаемых при региональных геологических исследованиях. Л., 1973, с. 60—67.
103. *Савинский И. Д.* Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. М., «Недра», 1964. 86 с.
104. *Саврасов Д. И.* Оценка вероятности обнаружения аномалий геофизическими съемками. — «Геология и геофизика», 1964, № 4, с. 134—137.
105. *Садьков А. М.* Идеи рациональной стратиграфии. Алма-Ата, «Наука», 1974. 182 с.
106. *Сагт Ю. Е., Изумнов Н. Я., Несвижская Н. И.* Геохимические поиски эндогенных месторождений бора. М., «Наука», 1973. 135 с.
107. *Салищев К. А., Берлянт А. М.* Применение картографического метода в научных исследованиях: состояние проблемы и перспективы. Тбилиси, 1973. 27 с.
108. *Сафронов Н. И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., «Недра», 1971. 215 с.
109. *Семенова О. Г., Белякова К. П.* Оценка эффективности поисковых сетей из параллельных прямых по вероятностям пересечения искомым объектов. «Сеть». Программы для решения геофизических задач на ЦВМ. Л., 1969. 198 с.
110. *Семенова О. Г., Евдокимов Ю. Д.* Оценка эффективности поисковой сети наблюдений с помощью ЭВМ. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 10, с. 21—24.
111. *Сидоренко А. В.* Геология и научно-технический прогресс. — «Вестн. АН СССР», 1970, № 10, с. 3—15.
112. *Соловов А. П.* Принципы комплексирования геологических, геохимических и геофизических методов поисков рудных месторождений. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений. М., «Недра», 1972, с. 245—246.

113. Степанов Д. Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований. Л., 1958. 180 с. (Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геол. развед. ин-та, вып. 113).
114. Столпнер М. Н. Методика комплексной геологической съемки масштаба 1:50 000 в районах двухъярусного строения (на примере Зауралья). Свердловск, 1971. 21 с.
115. Стратиграфия и математика. Хабаровск, 1974. 207 с.
116. Страхов В. Н. О состоянии и проблеме геологической интерпретации данных гравитационных и магнитных наблюдений. — В кн.: Разведочная геофизика СССР на рубеже 70-х годов. М., «Недра», 1974, с. 113—121.
117. Страхов Н. М. Развитие литогенетических идей в России и СССР. М., 1971. 608 с. (Тр. Геол. ин-та АН СССР, вып. 228).
118. Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Т. 1. Поиски. М., «Недра», 1968. 431 с.
119. Урсул А. Д. Отражение и информация. М., «Мысль», 1973. 231 с.
120. Фрейзон В. М. Принципы геолого-экономической оценки результатов крупномасштабных геологосъемочных работ (на примере некоторых районов Якутии и Дальнего Востока). — В кн.: Обмен опытом по повышению экономической эффективности всех видов региональных геологических работ на основе внедрения порайонных цен. Красноярск, 1975, с. 40—43.
121. Хейфец А. М. Теория геологического поиска — В кн.: Моделирование процесса анализа геолого-геофизической информации на ЭВМ. Минск, 1973, с. 30—49.
122. Черчмен У., Акофф Р., Арноф Л. Введение в исследование операций. М., «Наука», 1968. 356 с.
123. Чуев Ю. В., Спехова Г. П. Технические задачи исследования операций. М., «Сов. радио», 1971. 244 с.
124. Шаранов И. Н. Учет формально-логических требований при уточнении геологических понятий и терминов. — В кн.: Методологические вопросы геологических наук. Киев, «Наукова думка», 1974, с. 17—34.
125. Штофф В. А. Моделирование и философия. М.—Л., «Мысль», 1968. 301 с.
126. Щербаченко Л. Г. Методика количественной оценки качества выполнения геологических заданий на стадии геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 (1:25 000). Алма-Ата, 1975. 26 с.
127. Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М., Техтеоретиздат, 1960. 53 с.
128. Agterberg F. P. Probabilistic models to evaluate regional mineral potential. Math. methods in Geosciences. Symposium held at Pribram, 1973, p. 3—38.
129. Allais M. Method of appraising economic prospects of mining exploration over large territories: Algerian Sahara case study. — Management sciences, vol. 3, № 4, 1957, p. 285—347.
130. Armour-Brown A., Nichol I. Regional geochemical reconnaissance and the location of metallogenic provinces. — Econ. Geol., № 65, 1970, p. 312—330.
131. Chisholm E. O., Broch J. S. Application of saturation prospecting techniques to Yukon. — Exploration of Mining in Canada, № 4, 1967, p. 15—17.
132. Code of stratigraphical nomenclature. American commission on stratigraphical nomenclature. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., vol. 45, № 5, 1961, p. 645—665.
133. De Geoffroy J., Wignall T. K. A probabilistic appraisal of mineral resources in a portion of the Grenville Province of the Canadian Shield. — Econ. Geol., vol. 66, № 3, 1971, p. 466—479.
134. De Geoffroy J., Wignall T. K. Design of a statistical data processing system to assist regional exploration planning. — Canad. Mining J., vol. 94, № 11, 1973, p. 30—35.
135. De Guenen J. Optimum distribution of effort: an extension of the Koopman basic theory. — Quat. Colorado School of mines, vol. XIII, № 4, 1964, p. 45—74.

136. *Denskin J. M.* A theory of reconnaissance. — Operations research, vol. 10, № 3, 1962, p. 352—386.

137. *Dery D. R.* Exploration targets and the choice of weapon. — Mining Mag., vol. 120, № 3, 1969, p. 151—163.

138. *Freedman J.* Geochemical prospecting for zinc, lead, copper and silver, Lancaster valley, South-eastern Pennsylvania. — Geol. Surv. Bull., № 1314—C, 1972. 25 p.

139. *Garrett R. A., Nichol I.* Regional geochemical reconnaissance in eastern Sierra Leone. Ins. Min. and Metall., sect. B, vol. 76, № 8, 1967, p. 97—112.

140. *Gaucher E., Nadeau N.* Enchantillonnage des travaux d'exploration minière de 200 cantons de l'Abitibi-Nord. Commission géologique du Canada. Étude 72-13, 1972. 16 p.

141. *Geological survey Research 1966.* Chapter A. Geol. Surv. USA, prof. paper 500-A, 1966. 280 p.

142. *Griffiths J. C.* Mathematical exploration strategy and decision-making. Proc. Seventh World petrol. Congr., vol. 2. Mexico, Elsevier publ. co, Ltd, 1967, p. 599—604.

143. *Harris D. P.* Alaska's base and precious metals resources. A probabilistic regional appraisal. — Quart. Colorado school. Mines. vol., 64, № 3, 1969, p. 295—327.

144. *Hedberg H. D.* Chronostratigraphy and biostratigraphy. — Geol. Mag., vol. 2, № 5, 1965, p. 451—461.

145. *Hedberg H. D.* Stratigraphic boundaries. A reply. — Eclogae Geol. Helvetica, Basel, vol. 63, № 2, 1970, p. 13—20.

146. *Joralemon P.* The fifth dimension in ore search. Amer. Inst. Mining Engineering, Fall meeting, 1967. 18 p.

147. *Kelly A. M., Sheriff W. J.* A statistical examination of the metallic mineral resources of British Columbia. Proc. symposium decision-making mineral ind., Univ. British. Columbia, 1969, p. 221—243.

148. *Klingmuller M. P.* A comparison of different methods of documentation of geological data. — Canad. Min. J., vol. 22, № 3, 1972, p. 201—203.

149. *Koopman B. O.* The theory of search. Operations research, p. 1, 1956, vol. 4, № 3, p. 115—135; p. 2, 1957, vol. 4, № 5, p. 4—35; p. 3, 1957, vol. 5, № 5, p. 217—248.

150. *List of memoirs, maps, sections etc., published by the Geological Survey of Great Britain and Museum of Practical Geology to 31st December 1936.* London, Geol. Surv. Great. Brit. 1937. 37 p.

151. *Ramsey J. M. P.* Application of thermal infrared, colour infrared and side looking radar to mineral exploration. — Canad. mining. Congr., vol. 93, № 8, 1972, p. 56—60.

152. *Reedman A. I., Gould D.* Low sample-density stream-sediment surveys in geochemical prospecting: an example from north-east Uganda. — Inst. mining and metal., sect B, vol. 79, № 8, 1970, p. 37—48.

153. *Remote sensing of Earth resources.* Tullahoma, Univ. of Tennessee, 1972. 237 p.

154. *Sainsbury C. L., Curry K. J., Hamilton J. C.* An integral system of geological mapping and geochemical sampling by light aircraft. Geol. Surv. USA Bull. 1361, 1973. 28 p.

155. *Slichter L. B.* Geophysics applied to prospecting for ores. Econ. geol., 50th anniversary volume, 1955, p. 885—969.

156. *Symposium sur les méthodes d'exploration minérale dans les pays en Voie de développement.* Bull. BRGM (deuxième série). Sect. II, № 6, 1974, p. 549—558.

157. *United States Geological Survey annual report.* Fiscal year 1975. 1976. 194 p.

158. *Wynne-Edwards H. R., Laurin D. F., Sharma K. N. M.* Computerized geological mapping in the Grenville province, Quebec. — Canad. J. Earth Sciences, vol. 7, № 6, 1970, p. 1357—1373.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора	3
Предисловие	4
Глава I. Теоретические основы методики и организации региональных геологосъемочных и поисковых работ	6
РГС как исследовательская система	7
Общее определение РГС	—
Средства и методы РГС	14
РГС как управленческая система	20
Принципы организации РГС	21
Общая характеристика организации процесса РГС	22
Моделирование процесса РГС	26
Понятия качества результатов и эффективности РГС	—
Задача определения комплекса методов и пути ее решения	29
Глава II. Модели процесса геологической съемки и региональных поисков полезных ископаемых и усовершенствование методики работ	32
Модели процесса сбора и обработки информации	35
Операционные модели	—
Математические модели	41
Модели процесса обнаружения объектов РГС	47
Модели первого уровня	—
Модели второго уровня	51
Модели третьего уровня	66
Глава III. Характеристика возможностей отдельных методов и оценка результатов региональных геологосъемочных и поисковых работ	73
Количественная характеристика возможностей отдельных методов	—
Оценка надежности результатов РГС	75
Погрешности привязки наблюдений и нанесения контуров на карты	81
Оценка содержания результатов РГС	83
Оценка эффективности РГС	85

Глава IV. Определение комплекса методов	86
Характеристики методов	—
Методика определения рационального комплекса методов	87
Оптимизация рационального комплекса методов	91
Последовательность применения методов	103
Глава V. Типовые комплексы методов	106
Классификация геологических и экономико-географических условий проведения РГС	—
Типовые комплексы методов	113
Список литературы	135

ИБ № 1175

АЛЕКСАНДР ИСААКОВИЧ БУРДЭ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ**

Редактор издательства З. Г. Сегаль.
Обложка художника Ю. Н. Давыдова.
Техн. редактор Н. П. Старостина.
Корректор М. И. Витис.

Сдано в набор 01.09.77. Подписано в печать 02.03.78. М-25579.
Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Печ. л. 9. Уч.-изд. л. 9,02. Тираж 950 экз. Заказ 573/422. Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,
ул. Фарфоровская, 12.
Ленинградская картфабрика объединения «Аэрогеология».

1руб. 40коп.

2613