

Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых — 2-е изд., перераб. — М., 1989

Часть I: Принципы и методы оценки/Сост. В. И. Бергер, Ю. В. Богданов, Г. А. Булкин, А. И. Бурдэ, В. К. Денисенко, М. Н. Денисов, А. А. Духовский,

А. Я. Жидков, А. И. Кривцов, И. Н. Крицук, И. И. Кронидов, Э. И. Кутырев, Н. В. Луцкина, К. А. Марков, А. Н. Мельгунов, Б. М. Михайлов, И. А. Неженский, В. М. Питулько, В. Е. Попов, В. М. Терентьев, В. А. Трофимов, А. Г. Харченков — 183 с. Ил. 16. Библиограф. 2 с.

Изложены научно-методические основы оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Охарактеризованы цели, задачи и содержание работ по прогнозированию минерального сырья в соответствии с действующей стадийностью геологоразведочного процесса. Приведена полная система единиц учета (категоризации) прогнозных ресурсов. Рассмотрены объекты оценки прогнозных ресурсов на различных стадиях геологоразведочных работ и приведена их типизация. Описаны методы и приемы количественной прогнозной оценки, общий порядок апробации и учета прогнозных ресурсов, принципы их использования для перспективного планирования геологоразведочных работ.

Выпуск подготовлен по материалам ВИМСа, ВИЭМСа, ВНИГРИуголь, ВНИИгеолинеурд, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ЦНИГРИ

Части Методического руководства

- 1 Принципы и методы оценки
- 2 Оценка прогнозных ресурсов твердых горючих ископаемых, черных и легированных металлов
- 3 Оценка прогнозных ресурсов цветных металлов
- 4 Оценка прогнозных ресурсов неметаллических полезных ископаемых
- 5 Оценка прогнозных ресурсов редких металлов.

Редакционная коллегия

Главный редактор *В. М. Волков*
 Члены редакционной коллегии *В. С. Быкадоров, Н. Н. Ведерников, М. Н. Денисов, В. В. Иванов, А. И. Кривцов* (зам. гл. ред.), *И. Ф. Мигачев, В. А. Нарсеев, В. Т. Покалов, Б. И. Прокончук, В. М. Терентьев* (зам. гл. ред.), *В. П. Федорчук, И. Б. Флеров*
 Ответственный редактор части I *А. И. Кривцов*

«Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период 2000 года» перед геологами поставлена задача — повысить уровень научного обоснования прогноза и геологической оценки месторождений полезных ископаемых.

Уровень достоверности прогнозных построений и геолого-экономических оценок прямо влияет на результативность геологоразведочных работ, в первую очередь поисковых и поисково-оценочных. Доля этих работ, обеспечивающих создание необходимого резерва для развития минерально-сырьевой базы СССР, существенно возрастает с каждым годом. В соответствии с этим важнейшим направлением геологических исследований является создание и внедрение эффективных научно обоснованных методик прогноза ведущих промышленных типов месторождений полезных ископаемых и оценки прогнозных ресурсов отдельных территорий и площадей на геолого-экономической основе. Количественное геологическое прогнозирование становится одним из наиболее действенных средств интенсификации геологоразведочного производства. Оно позволяет локализовать работы на ограниченных наиболее перспективных площадях, обеспечивая тем самым обнаружение месторождений минимальными затратами.

Первое издание Методического руководства было подготовлено в соответствии с приказом Мингео СССР от 27.08.86 № 468. Его цель — внедрение в практику геологоразведочных работ научно обоснованных методов и методик количественного прогнозирования минеральных ресурсов как необходимого элемента конечных результатов работ на всех стадиях геологоразведочного процесса.

При подготовке Методического руководства были обобщены передовые достижения в области металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых, полученные в последние годы. В Руководстве рассматриваются научно-методические основы прогнозирования, опирающиеся на принцип формационного анализа, интенсивно разрабатываемого в последние годы. Исходной методологической предпосылкой прогнозирования служит принцип геологической аналогии, который используется для определения позиции месторождений по геологическим ситуациям, а также для определения количественных и качественных параметров прогнозных ресурсов. Главы, посвященные методам количественного геологического прогнозирования, включают сводку практически всех известных подсчетных формул для оценки прогнозных ресурсов. Это дает возможность выбрать одну из них применительно к конкретным условиям прогноза. Данные, характеризующие продуктивность различных рудных формаций, облегчают количественное прогнозирование ресурсов. Правила категоризации прогнозных ресурсов, приведенной в соответствии с действующей стадийностью геологоразведочных работ, детальное рассмотрение особенностей прогнози-

рования при геологической съемке, поисках, поисково-оценочных и разведочных работах, — все это должно помочь выработке единой стратегии и тактики количественного геологического прогнозирования, способствовать повышению достоверности и надежности прогнозных оценок и обеспечить сопоставимость результатов прогнозирования по различным месторождениям, районам и регионам страны.

Введение прогнозных ресурсов в конечные результаты работы всех стадий геологоразведочного процесса определяет обязательность их геолого-экономической оценки. Ее цель состоит в том, чтобы своевременно установить возможное народнохозяйственное значение ресурсов прогнозируемых площадей и месторождений и определить целесообразность дальнейших работ. Положительные результаты геолого-экономической оценки служат основанием для принятия решения о выборе первоочередных объектов. Применение оценочных кондиций, отражающих современные требования промышленности к качеству и количеству ресурсов, помогает избежать принятия ошибочных решений и предотвращает проведение работ на объектах с недостаточно высоким потенциалом ресурсов полезного ископаемого.

Данная работа является вторым изданием «Методического руководства по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (вып. I—XII, 1986). Необходимость переиздания Руководства определяется как ограниченностью тиража первого издания, так и итогами его реализации в практике прогнозных работ. При подготовке второго издания учтены результаты использования Руководства при оценке ресурсов, а также замечания и пожелания ряда специалистов.

При переиздании материал сгруппирован следующим образом:

Часть 1. Принципы и методы оценки (объединяет вып. I—III).

Часть 2. Оценка прогнозных ресурсов твердых горючих полезных ископаемых, черных и легирующих металлов (вып. IV—V).

Часть 3. Оценка прогнозных ресурсов цветных металлов (вып. IV—IX).

Часть 4. Оценка прогнозных ресурсов неметаллических полезных ископаемых (вып. X).

Часть 5. Оценка прогнозных ресурсов редких металлов (вып. XI—XII).

В части I излагаются научно-методические основы прогнозирования и оценки прогнозных ресурсов, рассматриваются стадийность геологоразведочного процесса, объекты прогнозирования и категоризация прогнозных ресурсов.

Методы оценки прогнозных ресурсов охарактеризованы применительно к разноранговым объектам — металлогеническим провинциям, зонам, рудным районам, полям и месторождениям. Рассмотрены технология прогнозирования и вопросы комплексирования методов оценки. Приведен общий порядок оценок, переоценок, апробации и учета и рассмотрена взаимосвязь планирования геологоразведочных работ с оценками прогнозных ресурсов.

При подготовке второго издания Методического руководства

были учтены замечания, рекомендации и пожелания, присланные организациями и отдельными лицами. Переработка была направлена на устранение избыточных повторов материала, уточнение и конкретизацию вопросов методики оценки с учетом опыта практического использования выпусков 1986 г. Как в части I, так и в других частях Руководства не удалось достигнуть унификации классификации месторождений. В значительной мере это определяется стремлением редколлегии сохранить оригинальные авторские подходы и разработки составителей и исследователей, чьи материалы использованы в данной работе. С другой стороны, создание единых, общепризнанных рудноформационных либо геолого-промышленных классификаций месторождений представляет сложную задачу, трудно разрешимую в рамках данного Руководства. Вместе с тем, имеющиеся классификационные расхождения в подавляющем большинстве случаев не оказывают существенного влияния на принципы и методы прогнозирования и оценки прогнозных ресурсов.

1. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Оценка прогнозных ресурсов производится на перспективных площадях разного ранга, оконтуриваемых при прогнозных (прогнозно-металлогенических) исследованиях. Задача выделения перспективных площадей в наиболее общем случае заключается в опознании по геологической ситуации тех частей геологического пространства, в пределах которых возможно обнаружение тех или иных скоплений полезных ископаемых. При прогнозировании используется комплекс признаков (прогнозных факторов), отвечающих геологическим обстановкам нахождения месторождений и получающих отражение в характеристиках, которые выявляются геофизическими, геохимическими и другими методами. Набор комплексов признаков зависит от детальности прогнозно-металлогенических исследований, выражающейся в ранге перспективных площадей.

Наряду с традиционными видами прогнозирования, основанного на исследовании качественных приемов обработки информации с соответствующими графическими построениями, интенсивно развиваются прогнозные построения на базе применения количественных характеристик и методов обработки информации [9] (Бекжанов Г. Р. и др., 1987, Боровко Н. Н., 1973, Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976).

Выделение перспективных площадей по геологической ситуации основано на приуроченности определенных рудно-формационных типов месторождений к определенным геологическим обстановкам. Эта объективная закономерность, установленная обширной практикой геологоразведочных работ, отражена в формационных основах специальной металлогении, интенсивно разрабатывавшихся в СССР в течение последнего десятилетия.

Базисные положения этого направления определяются приуроченностью тех или иных рудных формаций к определенным геотектоническим режимам и палеогеодинамическим обстановкам, вхождением рудных формаций в качестве естественных составляющих в определенные геологические формации либо их сочетания.

Цель рудно-формационного анализа — установление закономерных ассоциаций продуктов рудообразования с определенными геологическими формациями и последующее решение обратной задачи — выделение перспективных площадей по наличию соответствующих геологических формаций и признаков их рудоносности.

Задаче прогноза отвечают те определения рудной формации, которые отражают упомянутые естественные ассоциации. Соответственно, под **рудной формацией** понимается группа месторождений или рудопоявлений, однотипных по элементному и минеральному составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется определенной геологической формацией (либо

сочетанием геологических формаций) и структурными условиями рудогенеза*.

При выделении геологических формаций обычно исходят из известного определения Ю. А. Кузнецова, согласно которому под **геологической формацией** (осадочной, магматической, метаморфической) понимаются естественные сообщества пород, возникающие в определенной геологической обстановке и отвечающие отдельным этапам развития того или иного участка земной коры. Соответственно каждая геологическая формация фиксирует определенный режим развития, а ассоциирующая с ней рудная формация характерна для данного режима. При ассоциации рудных формаций с сочетанием геологических формаций режим периода рудонакопления, как правило, сопоставим с режимом становления наиболее молодой из геологических формаций.

Рудная формация принимается в качестве основной классификационной единицы при мелко- и среднемасштабных прогнозно-металлогенических исследованиях. Рудная формация может разделяться на субформации и (или) минеральные типы с учетом особенностей вещественного состава и геохимических характеристик, имеющих количественное выражение. Рудные формации, постоянно наблюдаемые в однотипных геологических формациях либо их сочетаниях, но различающиеся по составу руд, выделяются в ассоциации рудных формаций. В семейства объединяются рудные формации, сходные по составу руд, но ассоциирующие с разными геологическими формациями.

Оценка прогнозных ресурсов производится применительно к **геолого-промышленным типам** месторождений. Под геолого-промышленными понимаются такие рудно-формационные типы, которые отвечают современным требованиям горнодобывающей промышленности к минеральному сырью. При выделении геолого-промышленных типов в первую очередь учитывается комплекс признаков, характеризующих сами рудные тела: масштаб, морфология, химический и минеральный состав, уровень концентраций рудообразующих компонентов, технологические свойства, экономическая значимость сырья и месторождений и др. Во вторую очередь учитываются признаки, характеризующие вмещающую среду: состав, структуру, гидрогеологию и др. (прил. 2).

При прочих равных условиях геолого-промышленные классификации месторождений базируются на требованиях промышленности к минеральному сырью и учитывают требования, предъявляемые к результатам работ оценочных и разведочных стадий. Формационные классификации более близки целям прогноза и поисков. Все это определяет неполноту сходимости формационных и геолого-про-

* Объяснение таких понятий как «угленосная (горючсланцевосная) формация», а также категории и соподчиненность прогнозных угле- и сланцевосных площадей (поле углеобразования, угленосная провинция и т. д.) и другие базовые понятия, используемые при прогнозировании твердых горючих полезных ископаемых, приведены в части 2 данного Руководства (вып. IV «Оценка прогнозных ресурсов твердых горючих полезных ископаемых», 1986 г.)

мысленных классификаций, а также возможные случаи объединения в один геолого-промышленный тип формационно различных объектов и включения в один формационный тип месторождений, различающихся по геолого-промышленным характеристикам.

Для целей прогнозирования на формационной основе определяющее значение имеет установление роли той или иной геологической формации в возникновении либо становлении соответствующей рудной формации. При этом следует различать наблюдаемые соотношения рудных и геологических формаций (установленная роль) и интерпретацию их пространственно-временных ассоциаций (предполагаемая роль).

Выделяются следующие типы формаций:

рудомещающая — комплекс пород, образующий среду рудоотложения, которое связано с другими геологическими явлениями; рудогенерирующая — комплекс пород, послуживший источником вещества, энергии и транспортирующих агентов в процессе рудогенеза;

рудоносная — комплекс пород одной формации, постоянно несущей однотипные продукты рудогенеза, часто являющейся средой рудоотложения и в ряде случаев служащей источником рудного вещества;

рудообразующая — комплекс пород, под влиянием которых происходит накопление рудного вещества, содержащегося в иных геологических формациях; регенерация рассеянных рудных компонентов вызывается энергетическим и флюидным воздействием соответствующих процессов магматизма, метаморфизма и др.

Обстановки рудонакопления, определяющие приемы прогнозно-металлогенического районирования и выделения перспективных площадей, отвечают ограниченному числу сочетаний формаций и вариантов их роли в рудогенезе. Для обеспечения формационных основ прогноза тех или иных типов месторождений требуется соблюдение следующей обобщенной последовательности систематизации исходной информации:

установление ведущих характеристик известных скоплений рудного вещества с определением их рудно-формационной либо геолого-промышленной принадлежности;

выявление формационных признаков рудомещающих геологических образований с определением их принадлежности к тому или иному режиму развития;

анализ зависимостей между формационными характеристиками рудных скоплений и вмещающей среды с оценкой постоянства их пространственно-временных ассоциаций и соответствия режиму становления;

конкретизация роли рудомещающей среды с оценкой ее принадлежности к рудоносным либо к рудомещающим формациям и определение возможных рудогенерирующих и (или) рудообразующих формаций;

обоснование принадлежности рудных скоплений к определен-

ной геологической формации либо к соответствующему сочетанию геологических формаций.

Подобный анализ обеспечивает получение необходимых данных для выделения площадей возможного развития тех или иных рудных формаций по обстановкам пространственного размещения геологических формаций и их сочетаний.

При прогнозных исследованиях выделяются перспективные площади — пространственные прогнозно-металлогенические и металлогенические категории — разных рангов и размеров. Классификация этих категорий, основанная на формационных подходах, отличается от классификаций, разработанных ранее при синтезе информации по пространственному размещению месторождений. Так, в известной классификации Е. Т. Шаталова [59] пространственные металлогенические единицы выделялись по размерам и форме площадей развития месторождений. К планетарным линейным площадям были отнесены **планетарные металлогенические пояса**; весьма крупные линейные площади выделялись в качестве **металлогенических поясов**; их эквиваленты при иной форме рассматривались как **металлогенические провинции**. Для крупных линейных площадей принималось наименование **металлогеническая зона** (рудный пояс), а при иной форме — **металлогеническая область**. Рудоносные площади средних размеров и нелинейной формы обозначались как **рудные районы**, включающие **рудные узлы**, а при линейной форме — как **рудные зоны**. Для площадей небольших размеров было принято наименование **рудные поля**, в пределах которых располагаются **минерализованные зоны** (перспективные участки).

При прогнозных исследованиях положение и границы перспективных площадей определяются не столько по позиции известных месторождений, сколько по геологической ситуации, имеющей формационное выражение. Это обстоятельство потребовало уточнения классификации пространственных прогнозно-металлогенических категорий на базе их формационного содержания.

Так, металлогеническая (структурно-металлогеническая) зона принимается эквивалентной **структурно-формационной зоне**. Под последней понимается участок земной коры, образованный двумя-четырьмя геологическими формациями, которые близки по режиму и времени становления и сопровождаются рядом рудных формаций. Структурно-формационные зоны по комплексу характеристик контрастно отличаются от смежных зон. Поскольку структурно-формационные зоны возникают на разных временных отрезках с существенно различными режимами развития, в регионах со сложной геологической историей возможны совмещения, наложения, перекрытия, пересечения соответствующих металлогенических зон как отражение взаиморасположения соответствующих геологических формаций. Оконтуривание металлогенических зон на прогнозных картах (картах-накладках) производится на основе структурно-формационных, палеогеодинамических, геохимических, геофизических карт, карт полезных ископаемых и т. д.

Металлогенические зоны включают в себя **рудные районы**,

которые представляют собой подзоны структурно-формационных зон, образованные одной геологической формацией либо однотипным сочетанием формаций, возникших в определенный период тектономагматического или тектоно седиментационного цикла

При мелко- и среднемасштабном металлогеническом анализе особенно важно соблюдать условие адекватности элементов прогнозно металлогенического районирования (металлогенические провинции, зоны, рудные районы) соответствующим формационным подразделениям. При этом последовательно выделяются потенциально рудоносные ассоциации структурно-формационных комплексов, структурно-формационные комплексы, геологические формации и субформации. Рудоносность этого ряда геологических образований соответственно определяется ассоциациями рудных формаций, рядами рудных формаций, профилирующей рудной формацией, субформацией и (или) минерально-морфологическим типом месторождений.

В пределах рудных районов выделяются потенциальные рудные поля, характеризующиеся комплексом структурных, магматических, литологических, минералого-геохимических признаков, свидетельствующих о вероятной локализации в их пределах промышленного оруденения. Геолого-структурная обстановка размещения рудных полей преемственно связана с соответствующими типами рудных районов.

При крупномасштабных и более детальных исследованиях выделяются перспективные участки, связанные общей геолого-структурной обстановкой размещения в пределах рудного поля. Участки выделяются по структурным, металлогеническим, магматическим, минералого-геохимическим признакам, на основании прямых признаков рудоносности.

Для выделения участков необходим ряд детальных (1:10 000—1:5 000) карт потенциального рудного поля, базирующихся на детальной геологической съемке. Она представляет основу для создания объемной модели поля и составления **геолого-структурной карты** отдельных участков, **карты прямых признаков оруденения** и **прогнозной карты-накладки**.

Принятые наименования пространственных категорий не зависят от геометрии соответствующих площадей, поскольку последние отражают формы распространения одних и тех же элементов (геологических формаций), на которые влияет тектонический режим как периода их становления, так и более поздних этапов.

По существу, каждый уровень (масштаб) регионального прогнозирования предполагает построение формализованных формационных прогнозно-поисковых моделей соответствующих рангов, вытекающих из общих геолого-генетических представлений (абстрактных моделей) о связи геологических и рудных формаций. При этом формационные факторы, имеющие «сквозное» выражение для каждого ранга прогнозируемой площади, дополняются специфическими критериями и признаками, сумма которых составляет элементы соответствующей геологической модели искомого объекта.

Для целей прогноза наиболее применимы такие модели рудных полей и месторождений, которые по комплексу элементов объективно характеризуют участки скопления рудного вещества как объекты прогноза и поисков и позволяют вычленять соответствующие перспективные площади из геологического пространства. При формировании таких моделей требуется обеспечение непротиворечивого сочетания факторов и признаков, следующих из теории рудогенеза, определяемых закономерностями размещения месторождений и накопленных поисковой практикой. С другой стороны, набор элементов, описывающих модели, в ряде случаев ограничивается разрешающими возможностями используемых комплексов методов геологического картирования, прогноза, поисков и разведки [24].

Описательные, графические и комплексные модели рудных месторождений, созданные на фактографической основе, имеют, как правило, различное по направленности конкретное содержание. Унификация моделей месторождений, необходимая для решения задач компьютеризации прогнозных построений и их воспроизводимости, возможна на основе формализации типовых моделей, подчиненной целям локального прогноза и составления соответствующих специализированных карт.

В наиболее общем случае при локальном прогнозе и поисках решается задача определения положения возможного местонахождения месторождений относительно той или иной совокупности точек наблюдения. С этих позиций геологическое пространство, в котором находятся (либо могут находиться) месторождения или рудные тела, принято разделять на надрудную, рудную и подрудную части. Это общее деление недостаточно для целей локального прогноза (особенно применительно к скрытым и глубокозалегающим месторождениям), поскольку, например, выделение надрудной части пространства не дает возможности конкретизировать позицию перспективных площадей с необходимой детальностью. С другой стороны, решение задач локального прогноза возможно не только путем выделения перспективных участков, но и путем выявления заведомо бесперспективных площадей. Этим определяется необходимость более детального расчленения названных выше частей геологического пространства. Соответственно выделяется собственно рудоносная часть, отвечающая рудным телам или месторождению, и фланги рудоносной части, непосредственно примыкающие к рудоносной части. В надрудном пространстве выделяются следующие части: собственно надрудная, располагающаяся непосредственно над месторождением, надрудная фланговая, надрудная периферийная. В подрудном пространстве — собственно подрудная, подрудная фланговая, подрудная периферийная.

Особое значение имеют требования к содержанию и нагрузке прогнозных карт. Такие карты, как известно, имеют своей целью выделение перспективных площадей, ранг которых зависит от масштаба прогнозно-металлогенических исследований и соответствующих геологических основ. При определении позиции структурно-металлогенических зон и рудных районов преимущественно ис-

пользуются структурно-формационные основы с рудной нагрузкой. Применительно к картам крупномасштабного и локального прогноза, обеспечивающим выделение потенциальных рудных полей и перспективных участков, эквивалентных потенциальным месторождениям определенного формационного либо геолого-промышленного типа, унифицированные методические подходы пока не разработаны. В наиболее общем случае используются карты рудной нагрузки и поисковых признаков, составленные на специализированных основах геологического содержания. Вместе с тем, нередки случаи некомплексного подхода к выделению перспективных площадей — использование лишь части факторов: тех или иных аномалий, структурных, петрологических признаков и т. п. Подобные подходы во многом имеют субъективный характер и не обеспечивают, как правило, воспроизводимость результатов прогноза.

Общий порядок составления прогнозных карт по итогам геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000, обеспечивающих крупномасштабный прогноз, предусматривает в качестве их основ использование карты закономерностей размещения полезных ископаемых. На последние рекомендуется выносить все месторождения, проявления и пункты минерализации; комплекс поисковых признаков месторождений: металлогенические факторы, имеющие, очевидно, различное выражение для разных типов месторождений. Согласно цитируемой работе прогнозная карта-накладка по своему содержанию является результирующей и содержит фактически лишь итоги прогноза. Процедура перехода от карты закономерностей к прогнозной карте, отвечающая металлогеническому анализу и обеспечивающая обоснование перспективных площадей, обычно осуществляется в текстовой части отчета при анализе связей между месторождениями и различными факторами и признаками. Однако в силу того, что итоги подобного анализа не получают графического выражения, а содержание карт закономерностей не позволяет непосредственно по их нагрузке и легенде определить позицию перспективных площадей и их границы, результаты прогноза нередко оказываются недоступными для воспроизведения. Фактически при этом допускается выделение перспективных площадей на основе неподдающихся контролю и анализу авторских построений, нередко выполняемых на основе различных (и далеко не всегда объективных) методологических и геолого-генетических подходов. Очевидно, что при таком порядке построения карт не может быть обеспечена сопоставимость прогнозных построений, выполняемых различными исследователями.

Устранение невоспроизводимости и несопоставимости результатов прогнозирования возможно при переходе к составлению карт крупномасштабного и локального прогноза на основе моделей рудных полей и месторождений как объектов прогноза и поисков. Подобные карты должны составляться применительно к определенным рудно-формационным либо геолого-промышленным типам месторождений на основе синтеза данных о наличии соответствующих прогнозных критериев и признаков и на базе специализированных

геологических основ, отражающих необходимые металлогенические факторы и содержащих информацию, которая позволяет определить участки, отвечающие различным частям околорудного пространства, и отразить их на карте-накладке.

Как перспективные, так и бесперспективные площади, выделяемые на карте, сопоставляются с поперечными сечениями соответствующих моделей, на которых должны получить отражение уровни эрозионных срезов. Естественно, что вертикальные сечения геометризованных моделей объектов прогноза и поисков должны входить в комплект графических материалов, а обозначения различных частей околорудного пространства — в основные знаки легенды. Комплекс признаков таких частей характеризуется в содержательной (описательной) части легенды к карте-накладке либо к модели. При этом признаки группируются применительно к разным частям околорудного пространства и получают содержательное описание.

Важно отметить, что построение прогнозных карт на базе моделей определяет требования к исходным материалам и их качеству, соблюдение которых исключает возможности необоснованного либо недостаточно обоснованного прогноза. Неполнота выявления тех или иных признаков различных частей моделей, определяемая при сопоставлении с фактическими данными по тем или иным участкам, вызывает необходимость либо добора недостающей информации, либо выведения таких площадей в категорию с определенными перспективами. Последнее, естественно, снижает качество работ.

Модели объектов прогноза и поисков составляют основу технологических схем реализации геологоразведочного процесса, вошедших в практику работ под наименованием **прогнозно-поисковых комплексов**. В этих комплексах каждая стадия геологоразведочного процесса рассматривается как система взаимосвязанных элементов «методы-признаки-объекты». Формирование модели объекта, оптимизация описывающих ее признаков и оптимизация методов, выявляющих признаки и через них объекты, составляют существо создания прогнозно-поисковых комплексов как оптимизированных технологических схем каждой стадии и их сочетания в принятой последовательности. Моделями и их признаками определяются требования к изученности территорий по стадиям, а методами и их сочетаниями — необходимые затраты на реализацию потенциала рудоносности.

Факторы и признаки выделения и оконтуривания прогнозных площадей разного ранга, требования к результатам работ соответствующих стадий и исходным материалам, факторы и методы оценки прогнозных ресурсов применительно к площадям разного ранга рассмотрены в последующих выпусках Руководства применительно к важнейшим видам твердых полезных ископаемых и их основным геолого-промышленным типам. В ходе подготовки легенд к новой серии региональных металлогенических карт территории СССР был разработан подход к выделению металлогенических зон, основывающийся на анализе возрастных рядов геологических и рудных форма-

ций с учетом их тектонического положения и генетических (фациальных) особенностей [10, 20]. При этом принципиально различная роль таких рудоконтролирующих факторов, как палеофациальные, палеоклиматические, тектонические и др. определила необходимость разделения всего многообразия структурно-вещественных комплексов на несколько групп: а) согласных стратифицированных образований, представленных осадочными и вулканическими формациями; б) секущих, образованных интрузивными и гидротермально-метасоматическими формациями; в) метаморфических образований (неподдающихся реконструкции и несопоставимых с фанерозойскими комплексами); г) кор выветривания.

Структурно-формационные комплексы или естественные ряды геологических и ассоциирующих с ними рудных формаций в зависимости от особенностей их состава и тектонического положения, подразделены на подгруппы, соответствующие отдельным типам металлогенических зон.

Сочетания рудных и геологических формаций, определяющие тип металлогенических зон, при прочих равных условиях отражают специфику геотектонического режима развития тех или иных участков земной коры. Устойчивыми связями между режимом развития геологическими формациями и рудными формациями определяются металлогенические обстановки. Так, в качестве главных металлогенических обстановок В. И. Смирновым выделены: дно океанов, эвгеосинклинальные, миогеосинклинальные, парагеосинклинальные (вторично-геосинклинальные), неактивизированных платформ, активизированных платформ.

Специфика дофанерозойского развития земной коры отражается в существовании следующих обстановок: протоконтиненты, зеленокаменные пояса, протогеосинклинали, гранито-гнейсовые купола, протоплатформенные чехлы, зоны протоактивизации. Детализация указанных обстановок при классическом подходе производится по отрезкам тектоно-магматических циклов или путем использования приемов реконструирования соответствующих режимов: палеогеографических, палеогеодинамических и др.

Наиболее важными единицами регионального металлогенического районирования являются металлогенические зоны и рудные районы.

Основные типы металлогенических зон охарактеризованы в табл. 1—5. Главным геологическим признаком для выделения рудных районов, как уже отмечалось, являются рудоносные (рудопродуктивные и рудовмещающие) геологические формации, а также некоторые «внутриформационные» факторы, такие как фациальные особенности и ритмика, несогласия и перерывы слонстых толщ, разломы и др.

В табл. 1 для каждой металлогенической зоны намечены главные типы рудных районов как площади с максимальной реальной и (или) потенциальной рудоносностью при преобладании минерализации определенной формационной принадлежности (геолого-промышленного типа).

Намеченное достаточно дробное подразделение металлогенических зон и рудных районов территории СССР по структурно-вещественным признакам, отражающим естественные ряды геологических и рудных формаций, последовательность развития их во времени позволяют использовать этот материал при прогнозно-металлогенических исследованиях, основывающихся на любых тектонических концепциях. В частности, в табл. 1 приведен пример иной интерпретации тектонических положений рудоносных структурно-формационных комплексов, проведенной с позиций геодинамических построений (по С. С. Шульцу).

Дальнейшее более детальное металлогеническое районирование, проводимое в пределах рудных районов с выделением потенциальных рудных полей, проводится на основе учета систем локальных факторов рудоконтроля, прямых поисковых признаков оруденения и фактических данных по геологическому строению и рудоносности территории, получаемых при более детальных исследованиях.

Выделение потенциально рудоносных объектов и оценка прогнозных ресурсов в их пределах базируются на следующих основных принципах.

Принцип вероятностного подобия. Наиболее вероятно, что сходным геологическим обстановкам со сходной историей развития будет свойственно близкое по типу и масштабам оруденение. На этом принципе базируется метод оценки прогнозных ресурсов по геологической аналогии. При количественном прогнозировании эта аналогия часто проводится путем сопоставления численно выраженной интенсивности проявления геологических факторов и оруденения и связей факторов между собой и рудоносностью. Градация геологических явлений (признаков) по интенсивности позволяет осуществлять их геометризацию, определять оптимальные по влиянию на оруденение значения и проводить аналогию на количественной основе, в частности, с помощью математических методов и ЭВМ. Оценки прогнозных ресурсов, основанные на принципе подобия, имеют вероятностный характер, что вытекает из вероятностного подхода к сопоставлению объектов по принципу подобия.

Практическое применение формационных критериев прогнозирования по аналогии базируется на трех исходных положениях:

1) состав и структура геологических формационных подразделений предопределяет их потенциальную рудоносность;

2) потенциальная рудоносность этих формационных элементов находится в прямой связи со степенью и направленностью дифференциации вещества;

3) сходные ассоциации формаций (геологические обстановки) или более дробных формационных подразделений определяют и близкие комплексы полезных ископаемых с сопоставимыми масштабами оруденения.

Принцип обратной зависимости частоты встречаемости рудоносных объектов от их размеров. Из него, в частности, вытекает следствие, что крупные месторождения редки, а уникальные — единичны. Применение принципа подобия к уникальным объектам,

Типовые геологические позиции металлогенических зон и рудных районов щитов (метаморфические нереконструированные, ультраметаморфические и метаморфизованные комплексы) и характерные для них ведущие типы оруденения

Тип структуры	Режим	Состав рудоносных комплексов					
		Ультрамафит мафические	Салическо мафические	Мафическо салические	Салические	Салические высокоглиноземистые	Высокремнистые (преимущественно терригенные)
Структуры активизации	Протоорогенный	—	—	—	1 1 Sn ск (Питкяранта)	II 1 <i>ти</i> пегм (Беломорская зона) 2 <i>RM</i> пегм (Линновара)	III 1 <i>Си</i> пч (Удокан)
	Рифтогенный	IV 1 <i>Си—Ni, Pt, Au</i> (Монча, Печенга) 2 <i>Си</i> сам (Юзия, Сухой, Кольский п-ов)	—	—	—	—	—
Эпикратонный чехол	Протоплатформенный	—	—	—	—	—	V 1 <i>Au</i> конг (Карелия)
Подвижные пояса протерозоя	Протогеосинклинальный	—	VI 1 <i>Си—Zn</i> кч (Рудопроявления Карелии)	VII 1 <i>As—Au</i> кч (Болден) 2 <i>Си—Mo</i> (Украинский щит)	—	—	VIII 1 <i>Fe</i> кв (Кривой Рог, Курская магнитная аномалия (КМА))
Зеленокаменные пояса архея	Пермобильный («прогеосинклинальный»)	IX 1 <i>Fe</i> (Мурманская зона)	X 1 <i>Sn</i> кч (Парандовара) <i>Си—Zn</i> (Ялонвара), <i>Mo</i> (Лобаш) 2 <i>Fe</i> (Белозерск)	XI 1 <i>Fe</i> (Костомукша)	—	—	—
		—	XII 1 <i>Ni—Co</i> (Кивгуба)	XIII 1 <i>Fe—Ti</i> (Магзин-Мусюр, Кольская зона, Джугджур)	XIV 1 <i>gr</i> (Завальское Украина)	XV 1 <i>Al</i> б (Кейвы, Кольский п-ов)	—
Выступы метаморфического основания	—	—	—	—	—	—	—

Типовые геологические позиции металлогенических фанерозойских геосинклинально-складчатых облас

Тип структуры	Стадия развития	Палеогеографические обстановки (с позиции зон ценинг-палеоферных плит)	Металлогенические зоны и рудные районы связанные со стратифицированными			
			недифференцированные и дифференцированные базальтоиды	андезиты	натриевые ридзиты (кварцевые скатофиры)	кремнисто терригенно карбонатные редуцированными базальтоидами
Перикратонные прогибы		Пассивные окраины континентов				
Чехол средних массивов и геосинклинальных поднятий	Без расчленения	Микроконтиненты	—	II 1 Cu—Pb—Zn б (Маднеули)	III 1 Pb—Zn б (Садон)	IV 1 Ф к (Белкинское) 2 Мп к (Усинское)
Вторичные геосинклинальные прогибы	Энзиматические вулканические и невулканические островные дуги, окраинные моря		—	VI 1 Cu—Pb—Zn (Кафанское) 2 Мп т (М Кавказский) 3 Cu—Mo (Техутское) 4 Al а (Заглинское) 5 Au—Ag S оп (Курильская гр)	VII 1 Cu—Pb—Zn (Лениногорское)	VIII 1 Fe—Mn ктк (Жайремское) 2 Ф ктк (Удско-Шантарская гр)
Первичные геосинклинальные прогибы	Поздней стадии Энзиматические вулканические островные дуги, окраинные моря		XII 1 S, Cu—Zn кч (Сибайское) 2 Fe, кр, Мп крт (Орская гр) 3 Co—Mo (Бошекульское)	—	—	XIII 1 Hg—Sb—I' (Хайдарканское) 2 Il—Pb—Zn (Таборное)

Таблица 2

ких зон и главнейших рудных районов рифейско-тей и характерные для них ведущие типы оруденения

осадочными и вулканическими комплексами			Металлогенические зоны и рудные районы связанные с секущими (плутоническими) комплексами		
терригенные с редуцированными базальтоидами	терригенные	терригенно карбонатные	ультрамафитовые	ультрамафит габброидные	тоналит гранодиоритовые
—	—	I 1 УК (Северо-Кавказский бас) 2 Na, K (Шедокское) 3 Au (Суходожское) 4 Pb—Zn (Сарданское)			
—	—	V 1 Al ок к (СУБР) 2 УК (Тквибули) 3 Pb—Zn к (Чаткало Курминский р-н) 4 tlk к Mg		—	VI См зоны XII, XVII, XVIII, XXVI
—	IX 1 Au кв	X 1 Ba—Pb—Zn к (Миргалимсайское)			XI 1 Fe—Co ск (Дашкесанское) Co—As (Сев Дашкесанское)
	XIV 1 Au кв (З Калбинская гр) Au—Sb (Сарылахское) 2 Hg т (Сев Кавказская гр)	XV 1 tlk к (Аспагашское) 2 Asb к Mg к (Зап Уральская гр) 3 Al бк (Салаирская гр) 4 Al бк (Новоземель-		XVI 1 Fe—Ti (Кусинский) 2 ap—Ti—Fe (Булкинское) 3 Cu—Ni (Вишерская гр)	XVII 1 Fe ск (Высокогорское) 2 Au кв с (Каскарское, Саурская гр) 3 Mo п (Сорское) 4 Mo ск (Юлия) 5 Mo—W(Au) ск, Au—W ш

Тип структуры	Стадия развития	Металлогенические зоны и рудные районы связанные со стратифицированными			
		Палеозойскими осадочными комплексами (с позиций контеининг литосферных палат)	недифференцированные и дифференцированные базальтоиды	андезиты	натриевые риолиты (кварцевые кератофиры)
Первичные геосинклинальные прогибы	Поздней стадии	Энзиматические вулканические островные дуги, окраинные моря			кремнисто терригенно карбонатные с редуцированными базальтоидами
Первичные геосинклинальные прогибы	Ранней стадии	Предгеосинклинальный рифт меланохоратное основание океанической коры, массивные окраинные континента	XIX 1 S, Си кч (Дергамышское)		XX 1 Fe Мп кр (Байконурская гр)

осадочными и вулканическими комплексами			Металлогенические зоны и рудные районы связанные секущими (платоническими) комплексами		
терригенные с редуцированными базальтоидами	терригенные	терригенно карбонатные	ультрамафитовые	ультрамафит габброидные	тенезит гранодiorитовые
		ская гр) 6 Il* (Амдерминское)			(Ольховское) 6 Fe—Си ск (Турьинское) 7 Rm пегм (Хорогское) 8 As—Co (Ишкискское) 9 ти пегм (Мамское)
XXI 1 Си— —Pb—Zn кгс (Фитизчайское)		XXII 1 Hg ⁺ к (Акташское) XXV 1 Fe сид (Бакальское) 2 Ф ктк (Каратауское) 3 Мо—V (Байконурская гр)	XXIII 1 Gr (Кемпирсайское) 2 Ilk (Шабровское) 3 Asb (Баженовское) 4 Asb (Карачевское) 5 Pt (г Со лорьева) 6 Au ⁺ л (Зодское) 7 Hg ⁺ л (Чаган Узунское)	XXIV 1 Fe—Ti (Качканарское) 2 Си—Ti—V (Волковское)	

* Оруднение предположительно орогенного этапа развития в геосинклинальных комплексах (см табл 3)

Типовые геологические позиции металлогенических зон
фаиерозойских складчато-глыбовых областей и

Таблица 3

и главнейших рудных районов рифейско-характерные для них ведущие типы оруденения

Геологический режим	Тип структуры	Основные структуры	Металлогенические зоны и рудные районы, связанные со стратифицированными осадочными и вулканическими комплексами				
			Аноритовые	Риолито-дацитовые	Трихиталит-трихиролитовые	Терригенные и терригенно-карбонатные сероцветные	Терригенные и терригенно-карбонатные красные и пестроцветные
Рифтогенный	Рифтогенные впадины		—	—		I 1 УБ (Забайкальская гр.)	—
	Сводовые поднятия в складчатых областях		—	—	—	—	—
Орогенный и активизационный (повторный орогенез)	Вулканические пояса и осадочные впадины	На мно и микротектоническом основании	IV 1 Al a (Закарпатская гр.) 2 Sb arg (Солакчинское) 3 Sn op (Тигидьское) 4 Hg op (Пламенное)	V 1 Pb Zn к (Североказахстанская гр.)	VI 1 Cu пч (Предуральская гр.)		
			VIII 1 Sn cc (Хетинское) 2 Sn p (Джалиндинское) 3 Fe кр (Коргонское) 4 PM arg (Забайкальская гр.) 5 Mo arg (Коктаская гр.)	XII 1 УК УБ (Воркутинский бас.) 2 Mn т (Чинатурское) 3 Ф т (Таджикский бас.) 4 Al б (Таджикская гр.)			
			XI 1 Au, Ag (Кврамкенское) 2 Mo arg (Коктаская гр.)				

Эвaporитовые	Металлогенические зоны и рудные районы, связанные с секущими (пегматическими) комплексами				Связь с геологическими комплексами в ядре
	диорит-гранодиоритовые	ацнокристаллические и щелочноритовые	ультрамафит-габбровые	фондитовые	
—	—	—	—	—	—
—	—	—	II 1 Cr al (Сарановское) 2 Cu Ni (Довыренское)	III 1 Fe ap RM fl (Татнинское) 2 ne Rm (Татарская гр.) 3 ne fs TR (Кияшальтурское) 4 K ne (Сыннырское)	—
VII 1 K-Na (Соликамское) 2 S сам (Предкарпатская гр.) 3 Mn к (Улутелякское)	IX 1 Pb-Zn ск (Тетюхинское) 2 Au с (Дарасунское) 3 Pb-Zn б (Шахтаминское)	X 1 Sn cc (Омсулчанское) 2 Ag cc (Тарынское)	—	—	—

Продолжение табл 3

Тектонический режим	Тип структуры	Металлогенетические зоны и рудные районы, связанные со стратифицированными осадочными и вулканическими комплексами				
		Андезитовые	Риолито дацитовые	Трахибазальт трахириолитовые	Терригенные и терригенно карбонатные сероцветные	Терригенные и терригенно карбонатные красные и пестроцветные
Орогенный и активизационный (повторный орогенез)	Вулканические пояса и осадочные впадины на эггесинклинальном основании	XIII 1 <i>Cu, Mo</i> (Кальмакырское) 2 <i>Pb, Zn</i> арг (Токрауская гр) 3 <i>Pb, Zn, Sb</i> (Азатекское)		XIV 1 <i>fl, Pb, Zn</i> (Тасконарское)		XV 1 <i>Cu</i> пч (Джеказганское)
	Слодовые поднятия на мио- и миктегосинклинальном основании	XVIII 1 <i>Hg</i> к (Акташское)		XIX 1 <i>fl</i> к (Каландуйское)		
						XXII 1 <i>Sb</i> арг (Солакачинское)

Эвапоритовые	Металлогенетические зоны и рудные районы, связанные с секущими (плаутоническими) комплексами				Связь с геологическими комплексами не ясна
	диорит гранодиоритовые	лейкогранитовые и целочногранитовые	ультрамафит габбровые	фондитовые	
—	XVI 1 <i>Pb, Zn</i> ск (Алтынтопканское) 2 <i>Pb, Zn</i> б (Карамазарская гр) 3 <i>Mo, Cu</i> (Коунрадское) 4 <i>RM, Fe</i> ск (Туранглинское) 5 <i>Au</i> с (Березовское)	XVII 1 <i>Mo</i> б (Охотская гр)	—	—	—
—	XX 1 <i>Sn</i> ск (Большой Каньон) 2 <i>Sn</i> сс (Депутатское) 3 <i>Pb, Zn</i> б (Тарбалджейское) 4 <i>Ag</i> сф (Зап Верхоянская гр) 5 <i>Cu, W</i> (Агылкинское) 6 <i>As, Co</i> (Вост Сеймчанское)	XXIII 1 <i>Sn, W</i> ск (Майхуринское) 2 <i>W, Mo</i> ск (Лянгарское) 3 <i>Mo, W</i> ск гр (Тырнаузское) 4 <i>B</i> ск (Акархарское) 5 <i>Au, W</i> ск (Лермонтовское) 6 <i>Au, Sb</i> (Сарылахское) 7 <i>q</i> пегм (Барнаваджская гр)	XXIV 1 <i>Sn-W</i> гр (Иультинское) 2 <i>Mo</i> гр (Аркиткинское) 3 <i>RM fl</i> (Вознесенское) 4 <i>fl</i> кт (Ермаковское) 5 <i>RMTR</i> гр (Этыкинское) 6 <i>fl, Pb, Zn</i> (Такобское) 7 <i>Au (Pb, Zn, fl)</i> (Алданская гр)	—	XXI 1 <i>Ba, Pb, Zn</i> (Зап Уральская гр) 2 <i>fl</i> (Амдерминское) 3 <i>Hg</i> т (Сев Кавказская гр) 4 <i>Hg fl, Sb</i> (Хайдарканское)

Геологический режим	Тип структуры	Освоение структуры	Металлогенетические зоны и рудные районы, связанные со стратифицированными осадочными и вулканическими комплексами				
			Андезитовые	Риодито-дацитовые	Трахибазальт-трахириодитовые	Терригенные и терригенно-карбонатные сероцветные	Терригенные и терригенно-карбонатные красно-пестроцветные
	Нерасчлененная	Тылом	XXV 1 Hg л (Чаган-Узунское) 2 Au л (Зодское)		XXVI 1 Sb W (Барун Шивеинское)		

Эвалоритовые	Металлогенетические зоны и рудные районы, связанные с секущими (платоническими) комплексами				Связь с геологическими комплексами не ясна
	диорит-гранодиоритовые	диабазогранитовые и пелитогранитовые	ультрамафит-габбровые	фондитовые	
—	XXVII 1 W, Mo гр (Чингекатское) 2 Mo, W ск (Плитинское) 3 Au, W ск (Кураинская гр.) 4 Pb, Zn ск (Гульнадское) 5 Pb, Zn б (Кастекское) 6 Cu, Fe, Mo ск (Саякское) 7 Cu, Ni, Co (Хавуаксинское)	XXVIII 1 W, Mo гр (Акчатаусское) 2 Il, Mo, W ск гр (Солнечное) 3 W гумб (Верхне-Кайрактинское) 4 W гр (Джидинское) 5 Mo гр (Первомайское) 6 RM пегм (Мурзинская гр.)	—	—	—

вследствие их единичности, затруднительно. Однако следует иметь в виду, что они являются закономерными членами общего статистического ряда распределения месторождений по масштабам. Принцип обратной зависимости позволяет вывести закономерности таких упорядоченных по запасам ранговых рядов, которые лежат в основе соответствующих методов оценки прогнозных ресурсов.

Принцип обратной зависимости выдерживается для металлогенетических подразделений любого иерархического уровня. В пределах крупных территорий распределение запасов полезных компонентов по объектам различного ранга неравномерное: большая часть запасов сосредоточена обычно в первых нескольких объектах убывающего рангового ряда. Крупные и уникальные по запасам месторождения, известные для многих рудных формаций, обладают рядом специфических черт (пока не выявленных во всей полноте). В природе широко распространена другая закономерность распределения объектов и явлений, а именно: по нормальному закону (или сводящимся к нему законам), при котором наиболее часто встречаемыми являются объекты средних или иных промежуточных (между максимальными и минимальными) размеров.

Принцип взаимосвязи характеристик рассеяния и концентрации элементов. Масштабы накопления элемента в промышленных концентрациях в месторождениях и в пределах рудоносных площадей различного иерархического уровня, его средние концентрации и пределы колебания концентраций определяются его распространенностью в земной коре (кларком). Так, месторождения железа

обладают запасами до миллиардов тонн металла при средних содержаниях его в рудах в десятки процентов (кларк железа по А. П. Виноградову — 4,65).

Запасами в сотни и десятки миллионов тонн при содержании полезного компонента в десятки процентов обладают месторождения элементов с кларками порядка $n \cdot 10^{-2}$ — это месторождения хрома, марганца.

Металлы с кларками порядка $n \cdot 10^{-3}$ образуют обычно месторождения с запасами в миллионы и сотни тысяч тонн при содержаниях в целые и десятые доли процента — это месторождения никеля, меди, свинца, цинка.

Для металлов с кларками порядка $n \cdot 10^{-4}$ характерны месторождения с запасами в сотни и десятки тысяч тонн со средними содержаниями в десятые доли процента — это месторождения вольфрама, олова, молибдена.

Месторождения ртути (кларк ртути $n \cdot 10^{-6}$) имеют запасы в десятки, реже сотни тысяч тонн при содержаниях десятые доли — целые проценты.

Месторождения золота (кларк — $n \cdot 10^{-7}$) обладают запасами лишь в десятки, сотни, редко первые тысячи тонн с содержаниями в первые граммы на тонну (редко более).

Принцип системности. Согласно этому принципу сопоставляемые при прогнозировании эталонные и оцениваемые объекты, а также металлогенетические, структурные, вещественные, временные категории должны быть соизмеримы, то есть относиться к одному

Типовые геологические позиции металлогенической зоны рудных районов платформ и характерные для них ведущие типы оруденения

Тектонический режим	Типы структуры	Стадия развития	Стратифицированные осадочные и осадочно вулканогенные комплексы				Секущие (плутогенные) комплексы		
			Преимущественное развитие вулканогенных пород		Преимущественное развитие осадочных пород		Развитие интрузивных пород		
			базальт долеритовый	трахибазальт трахидолеритовый	терригенный	терригенно карбонатный	эвапоритовый	ультрамафит габровый	базальт долеритовый
Рифтогенный	Сводовые поднятия	Без расчленения	—	—	—	—	—	—	1 <i>di</i> (Мирнинское) 2 <i>ap phl wrm</i> (Ковдорское) 3 <i>Pt</i> (Кондерское) 4 <i>Ti, Fe ap phl wrm</i> (Майме-чакотуй-ская гр) 5 <i>ap ne</i> (Хибинское)
	Авлако геи		—	1 <i>Si</i> сам (Сетте-Дабанская гр)	1 УК (Донбасский бас) 2 <i>Hg t</i> (Никитовское)	1 <i>Si</i> пч (Курпандинское)	1 <i>K, Na</i> (Днепровская гр)	1 <i>Si, Ni</i> (Норильское)	—
		(эмерсионная)	1 <i>is</i> (Тунгусская провинция)	—	1 <i>Si</i> пч (Приуралье) 2 <i>Ti</i> росс (Украина) 3 <i>Al b</i> (Тиман, Тихвин) 4 УК, УБ	—	—	1 <i>Si, Ni</i> (Курейская) 2 <i>Fe</i> ск (Ангаро Илимская гр)	—

Платформенный	Синеклиз и антеклизы										
	Ранняя (трансгрессивная)	Средняя (иннуационная)	Поздняя (регрессивная)						Конечная		
										(Подмосковье, Пясинское)	
										1 <i>Fe</i> оолитовый (Керченский) 2 <i>Ti</i> росс (Предкавказье) 3 КУ (Печорский бас),	1 <i>Mo—V</i> ск (Восточные районы Русской платформы)
—	—	—	—	1 <i>Na, K, Mg</i> (Калининградский, р-н) 2 <i>B</i> (Эльтон, Баскунчак) 3 <i>S</i> сам (Волжский бассейн)	—	—	—	—			
—	—	—	—	1 Ратовкит (Московская синеклиза) 2 <i>Pb, Zn</i> (Московская синеклиза) 3 Ф желв (Южная Прибалтика) 4 Г (Кохтла-Ярве)	—	—	—	—			
—	—	—	—	1 Ф ракуш (Кингисеппское) 2 Ф желв (Вятско-Камский) 3 <i>Ti—Zr p</i> (Верхнемамоновское) 4 Янтарь (Калининградский р-н)	1 <i>Mn</i> карб (Большой Токмак)	—	—	—	—		

Тектонический режим	Тип структур	Стадия развития	Стратифицированные осадочные и осадочно-вулканогенные комплексы				Скучные (аутогенные) комплексы			
			Преимущественное развитие вулканогенных пород		Преимущественное развитие осадочных пород		Развитие интрузивных пород			
			базальт-дагеритовый	трахибазальт-трахидагеритовый	терригенный	терригенно-карбонатный	кварцевитовый	ультрамафит-габбровый	базальт-дагеритовый	фойзитовый
Платформенный	Синеклизы и антиклизы	Ранняя (трансгрессивная)		5. Мп (Нико-польское) 6. Fe оолит-вый (Зауралье, Колпальское) 7. ГС (Поволжье)						

Типы металлогенических зон и рудных районов кор выветривания и импактных структур и характерные для них ведущие типы оруденения

Коры выветривания	Ферриалитные (латеритные)	Сиферритные (охристые)	Силлитные (глинистые)	Переготтожные
	1 Со Ni сил 2 Fe 3 Al б	1 Cu Ni сил 2 Fe	1 Каолинит	1 Al б 2 Ti росс 3 Ae росс
Импактные структуры	Импактиты <i>di</i>			

Примечания к табл. 1—5

1 Цифрами (1, 2) в пределах металлогенических зон (I, II) обозначены характерные для них типовые районы.
2 Принятые сокращения а) металлы и отдельные неметаллические полезные ископаемые показаны индексами соответствующих элементов Cu — медь, S — сера и др., б) остальные полезные ископаемые показаны в виде условных сокращений ГС — горючие сланцы, УБ — уголь бурый, УК — уголь каменный, Ф — фосфориты, Al а — алунит, Al б — бокситы, Al бк — бокситы карбонатные, ap — апатит, Asb — асбест, Bar — барит, Cral — алюмохромиты, di — алмазы, fl — флюорит, fs — полевой шпат, gr — графит, Mg — магнезит, mu — мусковит, ne — нефелин, is — исландский шпат, phi — флогопит, RM — редкие металлы, ilk — тальк, orm — вермикулит, q — кварц оптически и гранулированный, в) прочие сокращения arg — аргиллизитовый, б — березитовый, гр — грейзеновый, гумб — гумбеитовый, желв — желваковый, к — карбонатный, кв — кварцевый, конг — конгломератовый, кр — кремнистый, крт — кремнисто-терригенный, кт — карбонатно-терригенный, ктк — кремнисто-терригенно-карбонатный, кч — колчеданный, л — лиственитовый, оп — опалитовый, п — порфиновый, пегм — пегматитовый, пч — песчанниковый, р — риолитовый, ракуш — ракушняковский, росс — россыпной, с — сульфидный, сам — самородный, сид — сидеритовый, ск — скарновый, сил — силикатный, сс — силикатно-сульфидный, сф — сульфосольный, г — терригенный, ч — черносланцевый

иерархическому уровню. С другой стороны, исследуемые объекты и прогнозируемые в их пределах объекты оценки должны различаться на порядок. Например, в пределах металлогенических провинций выделяются и оцениваются структурно-металлогенические зоны, в пределах последних — рудные районы и т. п.

Принцип системности подразумевает также соответствие рудоконтролирующих факторов иерархическому уровню прогнозируемых объектов (то есть как бы учет «разрешающей способности» той или иной группы факторов). Соблюдение этого положения особенно важно на этапе выделения перспективных объектов, непосредственно предшествующему оценке прогнозных ресурсов. При этом на каждом иерархическом уровне выделяются геологические позиции, однородные по отношению к рудоконтролирующим факторам именно данного уровня.

Таблица 6

Классификация месторождений металлических полезных ископаемых по запасам (по В. И. Красникову, 1965 г.)

Полезные ископаемые	Запасы полезных компонентов по месторождениям (т)				
	не имеющим самостоятельного промышленного значения	промышленным			
		мелкие	средние	крупные	уникальные
1	2	3	4	5	6
Железные руды	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$	$n \cdot 10^{10}$
Алюминиевое и магниевое сырье — нефелины, алуиты, карналлиты	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$
Алюминиевое и магниевое сырье — бокситы, магнезиты, марганцевые руды, хром (в хромите), титан в коренных месторождениях (в металле)	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
Титан в россыпях, медь, свинец, цинк, никель (в металле)	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$
Олово, вольфрам, молибден, сурьма (в металле)	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$
Уран, торий, ртуть, бериллий (в металле)	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$
Кобальт, тантал, серебро, висмут (в металле)	n	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$
Золото, платина (в металле)	—	$n \cdot 10^{-1}$	n	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$

Принцип системности подразумевает также преобладание индуктивного подхода (анализ «снизу вверх») при выявлении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и анализе рудоконтролирующих факторов, а дедуктивного («сверху вниз») — при выделении на основе установленных закономерностей и критериев рудоносных объектов различного иерархического уровня.

В научных основах прогнозирования особое место занимают критерии выявления и оценки крупных и уникальных месторождений. Для характеристики месторождений по масштабам наиболее удобной представляется десятичная классификация (Красников В. И., 1965), при которой крупные месторождения на порядок больше по запасам, чем средние, а уникальные — на порядок больше крупных (табл. 6). При указанном подразделении к уникальным будут относиться единичные в мире месторождения, такие как КМА по железу, Никопольский и Чиагурский бассейны по марганцу, Витватерсранд по золоту, Кляймакс по молибдену, Альмаден по ртути, Сикуаньшань по сурьме, Чукикамата по меди

и т. д. Число крупных месторождений по каждому металлу в мире не превышает первые десятки, тогда как в отдельных, даже больших странах, их единицы. Мировая статистика показывает, что уникальные и крупные месторождения играют определяющую роль в суммарных запасах и добыче данного вида сырья.

Так, Витватерсранд дает половину мировой добычи золота (без СССР), Кляймакс — молибдена, а Садбери — две трети мировой добычи никеля, Альмаден содержит третью часть мировых ресурсов ртути и т. д. Крупные месторождения составляют основу сырьевой базы отдельных стран по большинству видов полезных ископаемых.

Специфичность условий формирования уникальных и крупных месторождений отмечается многими исследователями: Бергер В. И. (1982), Денисенко В. К. (1974), Строна П. А. (1977), Павлова И. Г. (1979—1981), Кантор М. З. (1981—1984), Рундквист Д. В. (1985) и др. Можно отметить следующие их общие особенности.

1. Наличие необычных, не повторяющихся в других месторождениях этого типа, признаков при редком сочетании рудоконтролирующих факторов; гипертрофированное проявление одного из главных для данной рудной формации критериев прогноза (Бергер В. И., 1982).

2. Возможность появления крупного месторождения определяется самой его формационной принадлежностью. Например, уникальные и крупные месторождения меди могут принадлежать к формациям медно-порфировой, медяных песчаников, сульфидной медно-никелевой; вольфрамо-кварц-полевошпатовой гумбенитовой и т. д. Для одних формационных типов оруденения характерны только мелкие месторождения (например, для медно-никелевых руд в связи с габбро-диабазами), для других, наоборот, достаточно обычны также и крупные объекты (руды того же состава в связи с интрузиями габбро-верлитовой формации и др.). Для возникновения крупного месторождения важен еще целый ряд факторов, детально рассмотренных в опубликованной литературе: состав и строение вмещающих формаций, направленность их дифференциации и ритмичности, наличие стратиграфических перерывов, выпадение отдельных толщ или их резко редуцированное развитие, особенности глубинного строения структурно-формационных зон, тип возрастных и латеральных формационных рядов, в которые входит данная рудоносная формация, геохимический тип фундамента, тип соотношения секущих интрузивных и стратифицированных комплексов, различные второстепенные или локальные проявления геологической обстановки рудообразования и т. д.

3. Формирование большинства крупных и всех уникальных месторождений связано с определенными этапами максимальной рудоносности соответствующего типа. Например, для территории СССР известно существование определенных возрастных максимумов марганцакопления (P_3-N_1), фосфатонакопления ($V-G; K-P$), бокситонакопления ($D_3-C; K$), углеобразования ($C-P; J$), выделяются эпохи предпочтительного формирования грейзеновых вольф-

рам-молибденовых (C_3-P_1), силикатно-сульфидных оловорудных (K_2-P), стратиформных свинцово-цинковых (PR_3, D_2), медно-порфириновых ($C_3-P_{12}, P-N$) месторождений

4 Одной из характерных черт крупных и уникальных месторождений является относительная длительность их развития, проявление в процессе их формирования нескольких этапов и стадий минерализации, нередко разделенных значительными интервалами времени, совмещение, телескопирование в пределах единых рудоносных структур минерализации различных генетических типов и природы (полиформационность) (Смирнов В И, 1970, Рундквист Д В и др, 1971, 1985, Денисенко В К, 1974, и др.) Таким образом, крупные и уникальные по запасам полезных компонентов месторождения образуются в связи с конкретными рудоносными геологическими формациями в благоприятных геологических обстановках (металлогенических зонах), обычно в определенных интервалах геологического времени — «рудоносные эпохи» — и обладают характерными признаками, указывающими на длительность их формирования

5 Отмечаются специфические минералогические и геохимические признаки крупных месторождений. Им свойственен многокомпонентный минеральный состав, для которого характерно наличие 100 и более гипогенных минералов (при этом в промышленных концентрациях в рудах месторождения находится три-четыре металла и более). Простой состав руд свойственен крупным месторождениям только некоторых типов — месторождениям флюорита, ртути, сурьмы. Характерным признаком крупных месторождений является полиформационный состав руд, например совмещение скарновой и грейзеновой минерализации или руд разного возраста — докембрийских и палеогеновых-неогеновых и т.д. М. З. Кантор (1981, 1982 и др.) показал принципиальную возможность оценки масштаба месторождений по набору минералов и элементам-примесям в них и привел многочисленные примеры.

Многие крупные месторождения имеют специфический изотопный состав свинца и серы, характеризующийся в целом большей стабильностью. Масштаб промышленной минерализации обычно коррелируется с размахом первичных ореолов рассеяния и дисперсиями концентраций рудных элементов. Например, в медно-порфириновых месторождениях содержание меди во вмещающих породах на три-четыре порядка выше фоновых, и эта особенность отмечается для площади радиусом до 4 км (Lovering, Cooper, 1970). В конечном счете для оценки масштабов месторождений минералогические критерии должны использоваться в совокупности с геологическими, структурными, геофизическими и другими

2. СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА, ОБЪЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

В стадийности геологоразведочных работ реализован принцип последовательного приближения, что обеспечивает их рациональное и экономически целесообразное выполнение. Разделение процесса на стадии определяется необходимостью периодической оценки результатов работ и принятия решений о проведении более детальных исследований. Основанием для постановки работ последующей стадии служит перспективность изучаемых площадей, практическое значение прогнозных ресурсов или промышленная ценность запасов полезных ископаемых, обнаруженных на предшествующей стадии. Принятая в СССР классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых отражает последовательное повышение точности и надежности оценки с ростом информации о них. Соответственно на каждой стадии геологоразведочного процесса выделяются собственные категории прогнозных ресурсов и запасов. При этом на всех стадиях работ соблюдается эквивалентность между геологическими объектами, пространственными металлогеническими категориями и прогнозными ресурсами.

От ранних к поздним стадиям геологоразведочного процесса обеспечивается последовательная локализация перспективных площадей, в наиболее общем виде отвечающих ряду металлогенической или минерагенической зона — рудный район — рудное поле — месторождение*. На разведочных стадиях выделяются отдельные участки, рудные тела и блоки в пределах месторождений, отличающиеся друг от друга количественными и качественными особенностями состава, строения и залегания полезного ископаемого, а также степенью разведанности.

Учитываемые ресурсы твердых полезных ископаемых в недрах согласно классификации [5] слагаются из **разведанных запасов** (категории А, В, С₁), **предварительно оцененных запасов** (категория С₂) и **прогнозных ресурсов** (категории Р₁, Р₂, Р₃).

Для полноты представлений о металлоносности тех или иных целесообразно введение **металлогенических (минерагенических) ресурсов** (металлогенического потенциала) и **отработанных запасов** (рис. 1). Металлогенические ресурсы определяются на стадии региональных исследований масштаба 1:500 000 и мельче на количественном или полуколичественном (высокий, средний, низкий металлогенический потенциал) уровнях в пределах металлогенических (минерагенических) провинций и зон по самым общим особенностям их состава и строения, недостаточных для оценок прогноз-

* Здесь и далее имеются в виду рудные полезные ископаемые. Классификация и типизация перспективных площадей для твердых горючих и неметаллических полезных ископаемых приводится в частях 2 и 4 Методического руководства.

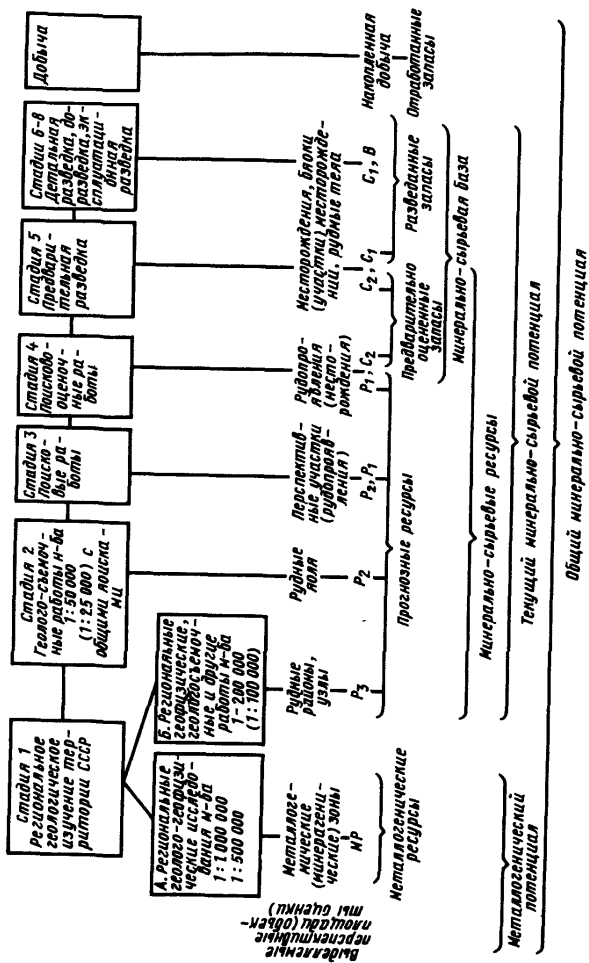


Рис. 1. Стадии геологоразведочного процесса и связанные с ними объекты оценки и категории прогнозных ресурсов и запасов

ных ресурсов по категории P_3 . Таким образом, металлогенетический потенциал включает в себя возможное количество полезного ископаемого в современных или перспективных условиях, содержащееся в недрах помимо установленных запасов и прогнозных ресурсов. При этом в металлогенетический потенциал включается и количество полезного ископаемого, связанного с предполагаемыми новыми типами месторождений, а также не соответствующего современным технологическим требованиям или условиям обработки, но, возможно, пригодного для использования в будущем. Для обозначения этой группы ресурсов и запасов, выделяемых на различных стадиях геологоразведочных работ, можно предложить общий термин «потенциальные ресурсы». Это своего рода «технологический резерв», объединяющий все «забалансовые» запасы и ресурсы.

Отработанные запасы представляют собой накопленную к моменту оценки в пределах оцениваемого объема добычу минерального сырья, не учитываемую в текущем балансе. Однако сведения о ней необходимы для обоснования как общих, так и конкретных прогнозных оценок.

Прогнозными считаются ресурсы ожидаемых месторождений, наличие которых в пределах оцениваемого объема или площади земной коры предполагается на основании известных закономерностей размещения и образования месторождений определенного типа и комплекса обнаруженных прогнозных и поисковых признаков. Разведанные и предварительно оцененные запасы подсчитываются в пределах геометризованных контуров тел полезного ископаемого. Прогнозные ресурсы оцениваются в пределах перспективных площадей, проявлений и месторождений, как правило, без пространственной геометризации тел полезного ископаемого на картах, планах и разрезах.

Классификация прогнозных ресурсов устанавливает общие принципы их деления на категории, а также предусматривает общий подход к определению их параметров, степени обоснованности и практического значения. Достоверность, обособленность и категоричность прогнозных ресурсов определяются степенью детальности геолого-съемочных, поисковых, поисково-оценочных или разведочных работ, а также методическим совершенством применяемых способов прогнозирования.

Согласно классификации [5] прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность формирования и промышленной локализации месторождений того или иного вида полезных ископаемых на основании благоприятных стратиграфических, литологических, тектонических и палеогеографических предпосылок, выявленных при производстве в оцениваемом районе среднемасштабных геологических съемок, дешифрирования космических снимков, а также при анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Количественная оценка ресурсов этой категории производится по предварительным параметрам на основе аналогии с более изученными районами, площадями, бассейнами,

где имеются разведанные месторождения того же генетического типа. Прогнозные ресурсы категории P_3 являются основой для планирования крупномасштабных съемок и общих поисков с целью обнаружения рудных полей, а иногда и детальных поисков с целью выявления месторождений полезных ископаемых.

Прогнозные ресурсы категории P_2 определяют возможность обнаружения месторождений в пределах рудных полей (площадей), выявленных при геолого-съемочных работах масштаба 1:50 000 с общими поисками, что определяется наличием проявлений полезных ископаемых, а также геофизических и геохимических аномалий, рудная природа части которых установлена. Количественная оценка ресурсов предполагаемых объектов, представления о форме, размерах тел полезного ископаемого, его минеральном составе и качестве основываются на аналогиях с известными месторождениями соответствующих геолого-промышленных типов.

Прогнозные ресурсы категории P_1 определяют возможность прироста запасов на разведанных и разведываемых месторождениях за счет расширения площадей распространения тел полезного ископаемого за контуры подсчета запасов по категории C_2 или дополнительного выявления новых тел полезного ископаемого. Оценка ресурсов выполняется путем геологической экстраполяции имеющихся данных по более изученной части месторождения о форме и строении тел полезного ископаемого, структурных, литологических, стратиграфических и других предпосылках, определяющих площади и глубины распространения скоплений полезного ископаемого, представляющих промышленный интерес.

За пределами известных месторождений прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются при поисковых и поисково-оценочных работах по совокупности геологических, геофизических и геохимических признаков по конкретным локальным площадям (участкам), где рудные тела и минерализованные зоны вскрыты в коренном залегании единичными геологоразведочными выработками, а их принадлежность к определенному геолого-промышленному типу и технологические свойства полезного ископаемого обобщены комплексом полученных данных. Ресурсы категории P_1 являются резервом для обоснования выбора объектов предварительной разведки и пообъектного планирования прироста запасов категории C_2 .

Все известные разведанные и предварительно оцененные запасы составляют минерально-сырьевую базу, а прогнозные ресурсы и предварительно оцененные запасы — минерально-сырьевые ресурсы. Текущий минерально-сырьевой потенциал включает в себя все указанные категории прогнозных ресурсов и запасов, а прибавление к ним отработанных запасов и металлогенического потенциала позволяет получить представление об общем минерально-сырьевом потенциале. Понятие об общем и текущем потенциалах важно не только для учета, но и для прогнозной оценки количества минерального сырья. Именно общий потенциал объекта прогнозной оценки определяется практически всеми методами прогнозных

оценок (за исключением прямых методов подсчета разведанных запасов по конкретным блокам). Соответствующее же каждой стадии геологоразведочных работ прогнозируемое количество минерального сырья определяется путем последующего вычитания из общих ресурсов известного (учтенного) количества сырья, включая отработанные запасы.

Цели геологоразведочных работ и прогнозных оценок на каждой из стадий (табл. 7) заключаются в следующем.

на стадии регионального геологического изучения территории СССР — создание мелкомасштабной геолого-геофизической основы для выявления геологического строения региона и общих закономерностей размещения полезных ископаемых (по результатам геолого-геофизических исследований, проведенных в масштабе 1:1 000 000—1:500 000), что обеспечивает возможность оценки минералогенического (металлогенического) потенциала (металлогенических ресурсов) выделяемых структурно-формационных (металлогенических) зон, среднемасштабное картирование региона, обоснование и обнаружение поисковых признаков и критериев, выделение с их помощью перспективных геологических объектов ранга рудных районов (узлов) и определение их прогнозных ресурсов с отнесением их к категории P_3 (по результатам геолого-съемочных работ масштаба 1:200 000),

на стадии геолого-съемочных работ масштаба 1:50 000 с общими поисками — крупномасштабное картирование территории, оконтуривание перспективных площадей ранга рудных полей, локализация в их пределах участков с благоприятными поисковыми признаками, выявление проявлений полезных ископаемых, определение прогнозных ресурсов по категории P_2 и их геолого-экономическая оценка,

на стадии поисковых работ — выявление и оконтуривание перспективных участков и рудопроявлений полезных ископаемых, определение прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 и их геолого-экономическая оценка,

на стадии поисково-оценочных работ — определение общих ресурсов выявленного объекта по категориям C_2 и P_1 , оценка их промышленного значения и составление технико-экономических обоснований (ТЭС) о целесообразности и своевременности его предварительной разведки,

на стадии предварительной разведки — подсчет запасов по категориям C_1 и C_2 на основании временных кондиций, оценка ресурсов категории P_1 , промышленная оценка месторождения, составление технико-экономического доклада о целесообразности его детальной разведки,

на стадии детальной разведки — подготовка месторождения или его части к промышленному освоению, разработка и утверждение технико-экономического обоснования (ТЭО) постоянных кондиций, подсчет запасов категорий А, В, C_1 , C_2 и оценка прогнозных ресурсов категории P_1 , утверждение запасов в ГКЗ СССР,

на стадии доразведки — подготовка к эксплуатации ранее

Подразделение геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые на стадии [13]

Наименование работ	Назначение работ	Результаты работ	Примечания
<p>Стадия 1 Региональное геологическое изучение территории СССР</p> <p>А. Региональные геолого-геофизические исследования масштаба 1:1 000 000—1:500 000</p> <p>Б. Региональные геофизические, геолого-съемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1:200 000</p>	<p>Изучение геологического строения крупных регионов страны и закономерностей размещения полезных ископаемых в их пределах</p> <p>Создание геолого-геофизической основы для определения главнейших особенностей геологического строения региона и общих закономерностей размещения полезных ископаемых</p> <p>Изучение геологического региона и обоснование поисковых критериев и признаков полезных ископаемых для выделения перспективных геологических структур</p>	<p>Государственная геологическая карта, на основании которой устанавливаются перспективные в отношении полезных ископаемых геологические структуры, их поисковые критерии и признаки</p> <p>Геологические, геофизические и прогнозные карты, опорные глубинные разрезы геологических регионов. Металлогенические (потенциальные) ресурсы полезных ископаемых (металлогенические потенциалы)</p> <p>Геологическая карта по листам принятой разграфки, карта полезных ископаемых с выделением перспективных на полезные ископаемые геологических структур, гравитационные, магнитные, радиометрические карты. Прогнозные ресурсы полезных ископаемых по категории P_3 с определением их возможного геолого-экономического значения</p>	<p>При обнаружении проявления полезного ископаемого на значительной площади возможна постановка поисковых работ до завершения геологической съемки региона</p>
<p>Стадия 2 Геолого-съемочные работы масштаба 1:50 000—(1:25 000) с общими поисками</p>	<p>Планомерное крупномасштабное изучение геологического строения территории, выявление геологических обстановок, благоприятных для локализации полезных ископаемых</p>	<p>Государственная геологическая карта изученных территорий с выделением прогнозируемых рудных полей для поисковых и поисково-оценочных работ; оценка по ним прогнозных ресурсов полезных ископаемых по категории P_2 и определение их возможного геолого-экономического значения</p>	<p>При обнаружении проявления полезного ископаемого на значительной площади возможна постановка работ последующих стадий до завершения геологической съемки района</p>
<p>Стадия 3 Поисковые работы</p>	<p>Выявление месторождений и проявлений полезных ископаемых и определение целесообразности их дальнейшего изучения</p>	<p>Выявление отдельных месторождений или групп месторождений полезных ископаемых с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_2 и определением их возможного геолого-экономического значения</p>	<p>На некоторых видах полезных ископаемых и хорошо изученных участках концентрации минеральных проявлений могут определяться прогнозные ресурсы по категории P_1</p>
<p>Стадия 4 Поисково-оценочные работы</p>	<p>Предварительная оценка выявленных месторождений полезных ископаемых и выбор объекта для проведения предварительной разведки</p>	<p>Установление возможного промышленного значения выявленного месторождения полезного ископаемого с оценкой запасов по категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 и составление технико-экономических соображений (ТЭС) для решения о целесообразности проведения предварительной разведки</p>	<p>Поисково-оценочные работы могут проводиться после любой предшествующей стадии геологической съемки или поисков на участках, где выявлены перспективные проявления полезных ископаемых</p>
<p>Стадия 5 Предварительная разведка</p>	<p>Промышленная оценка месторождения</p>	<p>Промышленная оценка месторождения. Запасы полезного ископаемого подсчитываются по категориям C_1 и C_2 на основании временных кондиций. Составляется технико-экономический доклад (ТЭД) для обоснования целесообразности детальной разведки месторождения</p>	<p>Очень крупные объекты — бассейны или рудные зоны, уходящие на большие глубины, могут разведываться по частям, в условных границах</p>
<p>Стадия 6 Детальная разведка</p>	<p>Подготовка месторождения или его части для промышленного освоения</p>	<p>Получение исходных данных, необходимых для проектирования разработки месторождения с соблюдением требований Классификации запасов по подготовленности месторождения для промышленного освоения. Разработка и утверждение в установленном порядке ТЭО постоянных кондиций. Подсчет запасов и утверждение их в ГКЗ СССР</p>	<p>Для имеющих важное народнохозяйственное значение месторождений, подлежащих первоочередному освоению, детальная разведка которых связана со значительными затратами на проходку подземных выработок, возможно совмещение стадии детальной разведки со вскрытием и подготовкой объекта к разработке</p>

Наименование работ	Наименование работ	Результаты работ	Примечания
Стадия 7 Доразведка месторождения А. Доразведка месторождения не освоенного промышленностью Б. Доразведка разрабатываемого месторождения	Подготовка к промышленному освоению ранее разведанного месторождения Последовательное изучение местоположения и изучение частей месторождения и разведка прирезанных площадей (участков) с целью восстановления обрабатываемых запасов полезного ископаемого или расширения сырьевой базы действующего предприятия	Обобщение материалов по дополнительно проведенным работам. При необходимости пересчет ранее утвержденных запасов полезного ископаемого, пересмотр условий и запасов в ГКЗ СССР То же	
Стадия 8 Эксплуатационная разведка	Уточнение полученных при детальной разведке данных о количестве качественных и условиях залегания подготовленных к разработке тел полезных ископаемых с целью оперативного планирования добычи и контроля за полнотой и качеством отработки запасов	Оперативные подсчеты запасов подготовленных и готовых к выемке блоков. Материалы уточняющие параметры нарезанных и очистных выработок. Исходные данные для контроля полноты отработки месторождения, определения потерь и разубоживания полезного ископаемого	

не разведанных частей месторождения, подсчет их запасов по категориям В и С₁, при необходимости пересчет запасов и их утверждение в ГКЗ СССР, оценка запасов категории С₂ и прогнозных ресурсов категории Р₁.

на стадии эксплуатационной разведки — оперативные подсчеты запасов в блоках, подготовленных к выемке, уточнение результатов детальной разведки

Рассмотренные соотношения стадий и различных категорий прогнозных ресурсов должны соблюдаться при проведении всех видов работ, исполняемых после введения новой стадийности геологоразведочных работ (приказ Мингео СССР № 161 от 20.04.84 г.)

В мае 1988 г. Министерством геологии СССР проведено уточнение стадийности применительно к поисковым работам. Уточнение связано с тем, что в ряде регионов страны по результатам геологической съемки масштаба 1:50 000 с общими поисками выделяются значительные площади и структуры, перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых, как правило не выходящих на дневную поверхность. Вместе с тем комплекс геологоразведочных работ, применяемый при ГСР 50 с общими поисками, зачастую не обеспечивает надежной локализации участков под целенаправленные поиски.

В связи с этим в пределах таких площадей Министерство геологии СССР в развитие пункта 31 Методических указаний о порядке проведения геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые по стадиям разрешает выполнение комплексных поисково-картировочных работ, специализированных на конкретный геолого-промышленный тип месторождений, по самостоятельным проектам. Основной задачей таких работ является выделение локальных участков и структур под поиски более крупных масштабов с определением прогнозных ресурсов категории Р₂ и, по возможности, категории Р₁.

Оценка ресурсов соответствующих категорий обязательна при проведении прогнозных и прогнозно-металлогенических исследований (в рамках научно-исследовательских и тематических работ), выполняемых с детальностью тех или иных стадий.

Различные категории прогнозных ресурсов соответствуют определенным стадиям. Исключение в этом отношении составляют ресурсы категории Р₁, которые могут быть получены по результатам поисковых работ, а также оцениваются за контурами запасов категории С₂ при поисково-оценочных работах, предварительной разведке, детальной разведке и доразведке.

На стадиях предварительной, детальной разведки и доразведки месторождений прогноз ресурсов категории Р₁ осуществляется только по неразведанным их частям, главным образом на флангах и глубоких горизонтах, где геологические перспективы благоприятны для обнаружения новых тел полезного ископаемого, но их разведка преждевременна из-за достаточной обеспеченности горнодобывающего предприятия разведанными запасами.

При переоценке прогнозных ресурсов по ранее изученным пло-

Виды геологоразведочных работ, по результатам которых проводится оценка и переоценка прогнозных ресурсов

Виды работ	Категории оцениваемых прогнозных ресурсов
Прогнозно металлогенические исследования и переоценка результатов ранее выполненных работ масштабов: 1 : 200 000 1 : 50 000	P ₃ P ₂
Геолого-съёмочные работы и переоценка результатов работ масштаба 1 : 200 000 1 : 50 000	P ₃ P ₂
Общие поиски оценка по завершении работ переоценка по ранее выполненным работам	P ₂ , P ₁ P ₃ , P ₂ , P ₁
Поисково-оценочные работы оценка по завершении работ переоценка по ранее выполненным работам	P ₁ P ₂ , P ₁
Предварительная и детальная разведка оценка по разведываемым месторождениям переоценка по разведанным месторождениям (в том числе разрабатываемым, подготавливаемым к освоению, резервным, не намечаемым к освоению)	P ₁ P ₁
Доразведка	P ₁

щадям допустимо понижение категорий в соответствии с табл. 8. Прогнозные ресурсы определяются отдельно для каждого вида полезных ископаемых. В процессе их оценки устанавливаются вероятные размеры месторождений, их промышленный тип, возможная величина ресурсов руды и средних содержаний компонентов, интервалы и глубины распространения ресурсов, а также другие характеристики. Параметры прогнозных ресурсов оцениваются прямым или косвенным путем, исходя из фактических данных, полученных в процессе проведения на объектах прогноза работ очередной стадии, а также по аналогии с параметрами хорошо изученных месторождений такого же типа. Значение прогнозных ресурсов устанавливается на основе их геолого-экономической оценки.

В зависимости от результатов, получаемых на каждой стадии геологоразведочных работ, осуществляется текущее и перспективное планирование, а также долгосрочное прогнозирование развития минерально-сырьевой базы страны.

2.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СССР

Работы по региональному изучению геологического строения территории СССР включают геолого-геофизические исследования в масштабе 1 : 1 000 000—1 : 500 000 и геологические и геофизические съемки в масштабе 1 : 200 000 (1 : 100 000).

Цель геолого-геофизических исследований в масштабе 1 : 1 000 000—1 : 500 000 заключается в составлении новых или обновлении существующих мелкомасштабных карт, а также в прогнозной оценке возможностей региона на нахождение месторождений. По данным проведенных работ составляются полистные и сводные карты геологического и прогнозного содержания масштаба 1 : 1 000 000—1 : 500 000. Объектами прогноза служат потенциально перспективные территориальные единицы крупного размера (металлогенические пояса, зоны, бассейны), для которых на основе обобщения данных более крупномасштабных съемок уточняются или определяются заново прогнозные ресурсы категории P₃ и металлогенический потенциал.

При геолого-геофизических и прогнозно-металлогенических исследованиях масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000) выделяются металлогенические объекты в ранге рудных районов, а прогнозные ресурсы относятся к категории P₃. Прогнозные ресурсы категории P₃ определяются для всех видов полезных ископаемых, месторождения которых могут быть здесь обнаружены. Прогнозные ресурсы устанавливаются в целом для выделенной перспективной площади, если выявление месторождений считается более или менее равновероятным в любом ее месте, или для отдельных участков этой площади, если их перспективы расцениваются более высоко, чем в остальной части.

Возможность нахождения месторождений на площади прогноза должна подтверждаться наличием их прямых признаков или обосновываться сходством косвенных признаков оцениваемой территории с такими же признаками, типичными для эталонных площадей с уже известными месторождениями данного полезного ископаемого. Количественные и качественные характеристики прогнозных ресурсов категории P₃ определяются по предположительным параметрам (удельной продуктивности, интенсивности и экстенсивности оруденения, прямой аналогии и т. п.) на основе сравнения с более изученными районами, площадями, зонами, полями и т. п., где имеются разведанные или оцененные месторождения такого же типа, что и ожидаемые. Этим обеспечивается соответствие параметров прогнозных ресурсов современным или перспективным требованиям промышленности к количеству и качеству запасов минерального сырья.

Ресурсы категории P₃ получают положительную геолого-экономическую оценку, если их масштабы и качество свидетельствуют о возможности открытия на территории прогноза промышленно

значимого месторождения. Исходя из предположительных параметров месторождений, которые предполагается обнаружить, и требований к ним (не должны быть меньше по размеру и хуже по качеству такого месторождения, которое еще можно считать промышленно значимым в географо-экономических условиях рассматриваемого района), выносятся решения об их перспективности. Параметры минимальных месторождений устанавливаются на основе районных оценочных кондиций или определяются расчетным путем с учетом особенностей размещения прогнозных ресурсов и их предполагаемых характеристик.

Прогнозные ресурсы категории P_3 служат основой для долгосрочного прогнозирования развития минерально-сырьевой базы и планирования геологической съемки масштаба 1 : 50 000 в сочетании с общими поисками. При региональной оценке помимо количества и качества прогнозных ресурсов и типа ожидаемых месторождений необходимо учитывать:

в освоенных районах — возможность обеспечения деятельности существующих здесь предприятий в будущем,

в неосвоенных районах — возможность одновременного освоения совокупности месторождений различных полезных ископаемых, а также совместной эксплуатации различных природных ресурсов (минерально-сырьевых, земельных, водных, лесных и прочих) и создания новых территориально-производственных комплексов. С учетом этих условий определяется приоритетность районов для первоочередной постановки геолого-съемочных работ масштаба 1 : 50 000 и общих поисков.

2.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ГЕОЛОГО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ МАСШТАБА 1:50 000 (1:25 000) С ОБЩИМИ ПОИСКАМИ

Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (в районах с очень сложным геологическим строением — масштаба 1 : 25 000), сопровождаемая общими поисками, является основным средством крупномасштабного изучения геологического строения территории СССР и создания геологической основы для локального прогнозирования и специализированного поиска месторождений полезных ископаемых. Работы этой стадии проводятся в первую очередь в пределах известных горнорудных районов, районов организации территориально-производственных комплексов и районов с наиболее высокими перспективами на обнаружение и освоение промышленных месторождений полезных ископаемых.

Основная цель геологической съемки масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) заключается в составлении Государственной геологической карты, а общих поисков, которые являются обязательной составной частью работ этой стадии, — в выделении, оконтуривании и изучении участков, наиболее перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых. Общие поиски должны быть

направлены на оценку ресурсов всех видов полезных ископаемых, которые могут быть сосредоточены на картируемой площади.

На выявленных при геологической съемке масштаба 1:50 000 и поисковых работах потенциальных рудных полях, проявлениях полезного ископаемого, участках с положительными признаками оруденения, геофизических и геохимических аномалиях, природа и возможная перспективность которых установлена, прогнозные ресурсы квалифицируются по категории P_2 . Количественная оценка ресурсов предполагаемых месторождений, представления о форме и размерах тел полезного ископаемого, минеральном составе и качестве руд основываются на аналогиях с известными месторождениями такого же типа. Определение количества и качества прогнозных ресурсов производится преимущественно косвенными методами (с помощью методов аналогии, моделирования, классификации, экспертной оценки).

Прогнозные ресурсы категории P_2 получают обязательную геолого-экономическую оценку. Основным средством определения практического значения прогнозных ресурсов всех категорий служат оценочные кондиции. Они рассчитываются исходя из технико-экономических показателей деятельности существующих горно-обогатительных предприятий и горно-геологических условий эксплуатируемых месторождений. Оценочные кондиции составляются применительно к промышленному типу месторождений и выражают минимальные требования промышленности к количеству и качеству их ресурсов. В окончательном виде они представляют собой график, функцию или таблицу, которые указывают положение разграничивающей линии в координатах «ресурсы руды» — «содержание компонента» (Харченков А. Г., 1987). Эта линия разделяет область существования месторождений данного типа на поля перспективных и бесперспективных объектов. Процедура геолого-экономической оценки нового объекта сводится к простейшему приему определения положения точки, соответствующей этому объекту, относительно линии оценочных кондиций.

Для применения оценочных кондиций необходимо установление:

промышленного типа ожидаемого месторождения, обуславливающего особенности строения, залегания и состава тел полезного ископаемого, что, в свою очередь, предопределяет выбор одинаковых для этого типа систем добычи и способов обогащения, извлечение одного и того же набора основных и попутных компонентов (так, глубина залегания тел полезного ископаемого предопределяет выбор способа добычи: открытого, подземного или комбинированного — и, как следствие, уровень затрат на добычу;

величины прогнозных ресурсов руды и содержания в ней полезных компонентов, а также зольности для углей, теплоты сгорания и выхода первичной смолы полукоксования для горючих сланцев, от величины которых зависят сроки существования будущего горно-обогатительного комбината, его производственная

мощность, количество и качество получаемой товарной продукции, ее себестоимость и, в конечном итоге, рентабельность эксплуатации месторождения;

географо-экономического положения оцениваемого объекта, от которого в большой степени зависит экономическая эффективность освоения месторождений.

Прогнозные ресурсы категории P_2 в случае, если их параметры признаны отвечающими требованиям оценочных кондиций, служат основанием для положительной оценки перспектив рассматриваемого объекта и принятия решения о необходимости продолжения на нем работ следующей стадии. Если на объекте исследования требуется детализация геологических наблюдений, уточнение его контуров, вскрытие и опробование полезного ископаемого, то проектируются поисковые работы. Если исследования такого рода проведены, то на объекте возможно проектирование поисково-оценочных работ. Прогнозные ресурсы категории P_2 позволяют ранжировать объекты по степени перспективности и определять очередность их вовлечения в дальнейшие геологоразведочные работы.

2.3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Поисковые работы организуются на перспективных участках, выделенных по результатам геологических съемок масштаба 1:50 000. Поиски проводятся в пределах ранее известных или впервые выделенных территорий ранга рудных полей, где возможность обнаружения месторождений подтверждена наличием поисковых признаков или проявлений полезного ископаемого. Объектами прогноза на этой стадии являются ограниченные в результате поисков площади, соизмеримые с размерами месторождений ожидаемого типа. К ним могут относиться проявления полезного ископаемого, локальные участки концентрации прямых или косвенных признаков отыскиваемой минерализации, характерные геофизические и геохимические аномалии, шлихорые ореолы, коры выветривания, наиболее перспективные фрагменты продуктивных структур, горизонтов и комплексов пород, окколорудные зоны гидротермальных измерений вмещающих пород и т. п. Для выделенных на стадии поисковых работ перспективных объектов уточняются ранее выполненные оценки прогнозных ресурсов категории P_2 или, при благоприятных условиях и получении необходимых данных, определяются ресурсы категории P_1 .

В процессе поисковых работ должны быть выделены и локализованы все объекты, потенциально перспективные на обнаружение месторождений, на части из них произведено вскрытие полезного ископаемого в коренном залегании, а на остальных получены доказательства принадлежности к тому или иному геолого-промышленному типу.

Прогнозные ресурсы определяются в целом для участка.

Параметры прогнозных ресурсов оцениваются прямым или косвенным методом. Применимость того или иного метода зависит от объема и характера информации, полученной в ходе поисковых работ.

Для оценки прогнозных ресурсов категории P_2 используются методы их прямого и косвенного (с помощью аналогии, моделирования и классификации) определения, а ресурсов категории P_1 — преимущественно методы прямого определения. Экспертной оценкой пользуются главным образом тогда, когда не имеется эталонов сравнения, то есть когда месторождение отличается необычностью свойств.

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов категории P_2 (или совместно категорий $P_1 + P_2$) производится с помощью оценочных кондиций или укрупненных расчетов. При этом учитываются географо-экономические условия района размещения ожидаемого месторождения, его геолого-промышленный тип, возможное количество и качество ресурсов, способ разработки. Решение о перспективности объектов с ресурсами категории P_2 (или $P_1 + P_2$) выносится в зависимости от полученных результатов геолого-экономической оценки. Если параметры прогнозных ресурсов удовлетворяют требованиям оценочных кондиций (правила применения которых такие же, что и на предшествующей стадии работ) или укрупненные расчеты показывают, что эксплуатация месторождений не будет убыточной, объект оценивается положительно. Это дает основания для проектирования на нем поисково-оценочных работ.

2.4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Поисково-оценочные работы планируются и проводятся на участках проявлений полезного ископаемого, обнаруженных в результате поисков и получивших положительную геолого-экономическую оценку по их завершении. Основная цель поисково-оценочных работ состоит в отработке проявлений, для которых не подтвердилась текущая или перспективная промышленная значимость; определении вероятного народнохозяйственного значения выявленных месторождений и выборе объектов, на которых целесообразна и своевременна постановка предварительной разведки. В процессе поисково-оценочных работ должны быть детально исследованы поверхностная и приповерхностные части месторождения, а также его непосредственные окрестности.

Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 на стадии поисково-оценочных работ основывается на результатах геологического, геофизического и геохимического исследований площади предполагаемого месторождения с привлечением необходимой экстраполяции данных, полученных по наиболее изученной части этого

же месторождения, где подсчитаны запасы категории C_2 , а также данных поисково-оценочных работ, предварительной и детальной разведки месторождений такого же типа. Исходя из имеющегося фактического материала о форме, условиях залегания, составе тел полезного ископаемого, содержании основных и попутных, полезных и вредных компонентов, структурно-тектонических особенностей, литологии и стратиграфии, минералогии и металлогении и сравнении этого материала с аналогичными данными по этому же и другим подобным месторождениям, делаются заключения о площади распространения, контурах и размерах тел полезного ископаемого, глубине их простирания, количестве и качестве ресурсов.

Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 производится на следующих объектах:

выявленных и частично разведанных по категории C_2 тел полезного ископаемого в пределах того объекта (преимущественно на флангах и в глубине), который остался недостаточно изученным для того, чтобы его запасы можно было бы оценить по категории C_2 ,

телах полезного ископаемого, вскрытых в коренном залегании в единичных точках и не прослеженных сетью поисковых выработок,

невыявленных телах полезного ископаемого, присутствие которых подтверждается прямыми поисковыми признаками (обломками оруденелых пород в элювиальных, делювиальных и других рыхлых отложениях, шлиховыми и металлогенетическими ореолами, корами выветривания, характерными геофизическими и геохимическими аномалиями),

невыявленных телах полезного ископаемого, вероятное залегание которых в пределах месторождения предполагается по косвенным признакам (литолого-стратиграфическим, тектоно-магматическим, петрологическим, минералогическим).

Прогнозные ресурсы частично разведанных тел оцениваются в границах блоков, простирающихся на глубину или прирезанных с флангов к блокам, запасы которых оценены по категории C_2 . Их контуры устанавливаются по геологическим признакам, а если они отсутствуют, то определяются с использованием метода экстраполяции.

Оценочные параметры тел полезного ископаемого, которые остались непрослеженными или вообще не вскрытыми, принимаются по аналогии с известными телами и с поправками на различие между ними. Степень различия выясняется при сравнении фактического материала, характеризующего вскрытые и не вскрытые, прослеженные и непрослеженные тела. На участках, где предполагается присутствие тел полезного ископаемого, которые на стадии поисково-оценочных работ не могут быть выявлены и оконтурены, оценка прогнозных ресурсов категории P_1 может быть получена с использованием коэффициента рудоносности или удельной продуктивности пород, вмещающих полезные ископаемые. Зна-

чение коэффициента рудоносности и удельной продуктивности определяется на эталонном участке этого месторождения.

По результатам определения запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 производится оценка предполагаемого промышленного значения исследуемого месторождения. Она проводится в двух вариантах для предварительно оцененных запасов категории C_2 и для суммы ресурсов категорий $C_2 + P_1$. Как правило, в процессе поисково-оценочных работ должно быть выявлено столько запасов категории C_2 , чтобы они удовлетворяли требованиям оценочных кондиций. Суммарный же потенциал ресурсов позволяет не только создать представление о крупных или мелких масштабах месторождения, но и ранжировать его в ряду подобных, а тем самым определить очередность его вовлечения в предварительную разведку.

Поисково-оценочные работы завершаются составлением технико-экономических соображений о возможном промышленном значении месторождения. ТЭС должен содержать следующие разделы:

1 Географо-экономические условия района размещения месторождения

2 Краткие результаты проведенных геологоразведочных работ

3 Геологическое строение и горно-технические особенности месторождения

4 Предполагаемые способы добычи, транспортировки и переработки полезного ископаемого

5 Методика, объемы и затраты на проведение поисково-оценочных работ

6 Оценка возможного промышленного значения месторождения

7 Рекомендации о целесообразности проведения на месторождении предварительной разведки

ТЭС является документом, который служит обоснованием для проектирования на месторождении предварительной разведки. Хотя геолого-экономическая оценка ресурсов категории $C_2 + P_1$ является прогнозной и не исключает полностью случаев, когда объект в процессе дальнейших геологоразведочных работ будет отнесен к разряду непромышленных, она препятствует вовлечению в разведку заведомо непромышленных рудопроявлений.

25 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Предварительная разведка проводится на месторождениях, промышленная ценность которых доказана технико-экономическими соображениями (ТЭС), составленными по результатам поисково-оценочных работ. Без составления ТЭС, обосновывающего целесообразность и своевременность предварительной разведки, ее планирование, проектирование и финансирование не допускается. Основная цель работ этой стадии — оконтуривание тел полезного ископаемого, выяснение их размеров и формы, особенностей залегания.

ния и внутреннего строения, природных и технологических типов и сортов полезного ископаемого, горно-технических, инженерно-геологических, гидрогеологических и прочих природных факторов, влияющих на условия вскрытия и разработки месторождения.

Специальные работы по выявлению прогнозных ресурсов на стадиях разведочных работ не производятся. Тем не менее, на стадии предварительной разведки возникают следующие прогнозные задачи: оценка ресурсов месторождения на горизонтах, лежащих ниже глубин, достигнутых разведочными работами, если геологические, геофизические и геохимические предпосылки свидетельствуют о дальнейшем распространении тел полезного ископаемого по падению;

оценка ресурсов новых, не известных ранее тел полезного ископаемого, впервые вскрытых единичными горными выработками или буровыми скважинами и не разведанных в силу тех или иных обстоятельств;

переоценка ресурсов известных ранее, но не вовлеченных в предварительную разведку тел полезного ископаемого (что особенно характерно для крупных месторождений, разведываемых не на всей их площади) в соответствии с новыми данными об условиях залегания, размерах, строении и составе разведанных тел.

Во всех перечисленных случаях прогнозные ресурсы относятся к категории P_1 .

Параметры прогнозных ресурсов должны удовлетворять требованиям временных кондиций, утвержденных для месторождения отраслевым министерством по согласованию с Министерством геологии СССР. В числе этих требований устанавливаются:

бортовое содержание, при котором производится оконтуривание балансовых запасов полезного ископаемого;

минимально промышленное содержание по блокам, участкам, горизонтам;

максимальная зольность для углей, минимальная теплота сгорания и выход первичной смолы полукочкования для горючих сланцев; допустимый коэффициент рудоносности для месторождений, где изменчивость мощности или содержания настолько велика, что не позволяет на этой стадии изученности месторождения выделять отдельные тела;

условия отнесения руд к определенным технологическим типам и сортам;

минимальная мощность полезного ископаемого и максимальная мощность пустых прослоев, включаемых в подсчетный контур запасов;

перечень полезных и вредных компонентов, учитываемых при подсчете запасов;

принятая глубина отработки открытым способом и максимальное допустимое отношение объемов вскрышных пород и полезного ископаемого.

Если параметры прогнозных ресурсов, определенные при поисково-оценочных работах, находятся в противоречии с требованиями

временных кондиций, то они требуют переоценки. Необходимость последней вызывается также тем, что в процессе предварительной разведки гораздо точнее, чем на стадии поисково-оценочных работ, определяются параметры тел полезных ископаемых. Появляется возможность сравнивать прогнозные и разведочные данные, оценить их сходимость и внести необходимые поправки в результаты определения прогнозных ресурсов на телах, оставшихся неразведанными.

Прогнозные ресурсы категории P_1 учитываются (при составлении технико-экономического доклада о целесообразности промышленного освоения вновь открытого месторождения полезного ископаемого и необходимости перехода к детальной разведке) в качестве резерва для получения прироста разведанных запасов в отдаленной перспективе, увеличения производительной мощности или продления срока деятельности горно-обогатительного комбината, который будет разрабатывать это месторождение.

Детальная разведка производится по заявкам тех отраслевых министерств, предприятия которых будут эксплуатировать эти месторождения. При детальной разведке работы почти исключительно проводятся в пределах контуров, где подсчитаны запасы категорий C_1 и C_2 . Поэтому вероятность обнаружения неизвестных ранее тел полезных ископаемых, для которых может потребоваться оценка прогнозных ресурсов, резко снижается. Остается главным образом задача переоценки прогнозных ресурсов, особенно на глубоких горизонтах и на флангах крупных месторождений. Если общие запасы таких месторождений превышают перспективную потребность будущего горнодобывающего предприятия, то детальная разведка проводится только на части месторождения, а запасы категорий B и C_1 разведываются лишь в объеме, максимально необходимом для обеспечения нормативных сроков службы предприятия. На остальной части месторождения дополнительные работы не проводятся. Прогнозные ресурсы, оцененные при поисково-оценочных или предварительных разведочных работах, подлежат переоценке после разработки и утверждения для месторождения постоянных кондиций, требованиям которых они должны удовлетворять, а также в связи с получением и уточнением новых данных по месторождению, которые могут повлиять на результаты прогнозирования.

Переоценка прогнозных ресурсов на стадии детальной разведки производится с соблюдением тех же правил и теми же методами, что и на стадии предварительной разведки. Если появляется необходимость в получении прироста запасов промышленных категорий за пределами разведанного месторождения и геологические предпосылки благоприятны для обнаружения новых тел и месторождений в окрестностях разведанного месторождения, на перспективных участках ставится комплекс геологоразведочных работ в их нормальной последовательности, начиная с поисков и кончая детальной разведкой. Полная стадийность соблюдается также при поисках и разведке новых рудных тел на глубоких горизонтах разведанных месторождений.

Комплексирование методов оценки прогнозных ресурсов

Таблица 9

Масштабы исследований и стадии геологических разведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта
Обзорный Мельче М 1:1 000 000	Земная кора в целом континенты, металлогенические пояса, металлогенические провинции	Обзорные географические, геологические, металлогенические карты, опубликованные данные	Ассоциация структурно-формационных комплексов (для металлогенических поясов и провинций)
Мелкий Региональные геологические исследования М 1:1 000 000 - 1:500 000	Структурно-металлогенические зоны	Мелкомасштабные карты геологического и прогнозного содержания	Структурно-формационный комплекс (ассоциация рядов геологических и рудных формаций) — ряд геологических и рудных формаций

Методы оценки прогнозных ресурсов (при этом указаны основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
По геохимическим константам и др.	Кларки земной коры, континентов, региональные, коэффициенты перевода геохимических ресурсов в промышленные	Геохимические справочники, расчеты	Начальный минерально-сырьевой потенциал
Ранговых рядов	Запасы известных месторождений	Опубликованные и фондовые материалы, карты полезных ископаемых	
Инвентаризационный с экстраполяцией	Запасы известных месторождений	Опубликованные и фондовые материалы, карты полезных ископаемых	
Экспертные	Оценки параметров рудоносности или ресурсов, данные экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
Аналогии	Удельная рудоносность, площадь выхода перспективных рядов формаций, глубина оценки, коэффициенты подобия	Расчеты по эталонным территориям, металлогенические и прогнозны карты	Минерагенические ресурсы (металлогенический потенциал)
Экспертные	Оценки ресурсов или параметров рудоносности, даваемые экспертом	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
Ранговых рядов	Запасы известных месторождений	Опубликованные и фондовые источники	R_3 — на основе обобщения данных более крупномасштабных съемок
По крупному месторождению	Запасы крупнейшего месторождения, эмпирические коэффициенты уравнения связи	То же	
Структурно-геометрический	Узлы пересечения разломов	Геолого-тектонические, металлогенические	

Масштабы исследований и стадии геологических разведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта
Средний Региональные геофизические, геолого-съёмочные и другие работы М 1 200 000 (1 100 000)	Рудные районы	Среднемасштабные карты геологического и прогнозного содержания, карты геофизических и геохимических аномалий	Геологическая и рудная формация

Методы оценки прогнозных ресурсов (шифром выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
		кне карты, «достройка» сети разломов	
Кларковский	Региональные кларки, коэффициенты перевода геохимических ресурсов в промышленные	Литературные и фондовые материалы, расчеты	
Аналогии	Удельная рудоносность, площадь выхода перспективных формаций или структур, глубина оценки, коэффициенты по добычи	Расчеты по эталонным рудным районам, металлогенические и прогнозные карты	
Экспертные	Оценки ресурсов или параметров рудоносности, даваемые экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
Геохимические	Данные опробования первичных и вторичных ореолов минерализации, параметры ореолов, их продуктивность, коэффициенты перехода между геохимическими и промышленными запасами, статистики распределения содержания металлов в ореолах (средние, дисперсии и др.)	Опробование, геохимические карты, коэффициенты перехода (по аналогии с другими районами, экспертная оценка)	
Геофизические	Параметры интенсивности геофизических аномалий, пространственные параметры аномалий, коэффициенты перехода между интенсивностью аномалий и промышленными ресурсами	Геофизические измерения, геофизические карты	

Масштабы исследований и стадии геолого-разведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта
Крупный Геолого-съёмочные работы М 1 50 000 (1 25 000) с общими поисками	Рудные поля	Комплект карт масштаба 1:50 000 (геологические, геоморфологические, четвертичных отложений, геохимические, геофизические, закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых)	Геологическая и рудная субформация, внутриформационные неоднородности (фашии, уровни несогласий и др.)
	Перспективные участки, выраженные в геохимических аномалиях		

Продолжение табл. 9

Методы оценки прогнозных ресурсов (шрифтом выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
Статистические	Интенсивность проявления геологических признаков (факторов) и оруденения	Снятие информации с карт (часто по равновеликим площадям), опробование, измерения	P ₂
Аналогии	Удельная рудоносность, площадь выхода перспективной ассоциации пород, рудоуплотняющей структуры, глубина оценки, коэффициент подобия	Расчеты по эталонным рудным полям, измерения, экспертиза	
Экспертной оценки	Оценки ресурсов, данные экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
Статистические	Интенсивность проявления (площадь, объем, длина, плотность) геологических признаков и известной рудоносности	Обычно снятие информации с карт по равновеликим ячейкам, опробование, измерения	
Ранговых рядов рудных тел	Запасы известных рудных тел	Прямые и косвенные расчеты ресурсов известных рудных тел	
Геолого-экономической экстраполяции	Скорость бурения, вложение средств, время освоения	Анализ экономических характеристик разведки — фондовые материалы	
Геохимические (для металлических полезных ископаемых)	Данные опробования первичных и вторичных ореолов минерализации, их продуктивность, параметры ореолов, коэффициенты перехода от геохимических ресурсов к промышленным, статистика распределения содержания металлов	Опробование, геохимические карты, коэффициенты перехода (аналогия, экспертные оценки)	

Масштабы исследований и стадии геологических разведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта
	Перспективные участки, выраженные в геофизических аномалиях		Минеральный, минералого-морфологический, геолого-промышленный тип
	Рудопроявления		

Методы оценки прогнозных ресурсов (шрифтом выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
Геофизические (для некоторых видов полезных ископаемых)	Данные геофизических измерений, выражающие интенсивность геофизического поля, его пространственные параметры. Коэффициенты перехода между интенсивностью аномалий и промышленными ресурсами	Геофизические измерения, геофизические карты	P ₂
Аналогии	Запасы эталонных месторождений данного геолого-промышленного (минерального, морфологического) типа	Фондовые источники	
Экспертные	Оценки ресурсов или отдельных параметров рудоносности, данные экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
Прямые расчеты	Предполагаемые и измеренные параметры рудных тел и вмещающей среды	Измерения, экстраполяция измерений, предположения по аналогии	
Ранговых рядов рудных тел	Запасы (ресурсы известных рудных тел)	Прямые и косвенные расчеты ресурсов известных рудных тел	
По распределению содержаний полезного компонента	Данные опробования рудных тел и ореолов рассеяния	Опробование, фондовые материалы	

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Разнообразие методов оценки прогнозных ресурсов предопределяется рядом обстоятельств:

- принципиальной возможностью решения одной и той же задачи различными путями;
- отличием объектов оценки по иерархическому уровню (металлогенетические провинции и зоны, рудные районы, поля, месторождения и рудопроявления);
- многообразием геологических обстановок проявления оруденения (щиты, платформы, складчатые области и т. п.); его структурно-морфологических (жильные, штокверковые, пластообразные, гнездообразные и т. д.), тентических (осадочные, плутоногенные, вулканогенные, метаморфогенные, кор выветривания) и других типов;
- отличием объектов оценки по типу аномальности (рудоносные площади, перспективные участки, выраженные в геохимических и геофизических аномалиях, геометризованные контуры промышленной рудоносности — месторождения и рудные тела),
- различной исходной информацией (геологическая, геохимическая, геофизическая, аэрокосмическая, экономическая и т. д.);
- состоянием изученности;
- наличием эталонов или моделей данного типа объекта оценки;
- степенью организации исходной информации и техническими возможностями ее обработки (наличие банков данных, информационно-поисковых систем, а также ЭВМ и соответствующего персонала);
- другими причинами объективного и субъективного характера.

При всем многообразии обстоятельств, влияющих на выбор рационального комплекса методов оценки, определяющими являются масштаб исследований, тип объекта оценки и вид исходной информации.

В табл. 9 методы оценки прогнозных ресурсов сгруппированы в зависимости от масштабов исследования и объектов оценки, что удобно для рассмотрения вопросов комплексирования методов по стадиям геологоразведочных работ, а в табл. 10 — в зависимости от типа исходной информации, что позволяет более рационально охарактеризовать существо методов. Из этих таблиц видно, что одни методы являются «сквозными», применяемыми на всех стадиях геологоразведочных работ (аналогии, экспертных оценок), а другие привязаны к определенным масштабам (объектам) оценки. При этом в направлении от региональных масштабов прогнозирования к локальным в основе оценки прогнозных ресурсов теоретические предпосылки сменяются эмпирическими закономерностями, а затем все большую роль играют фактические данные (конкретные параметры).

Окончательное определение прогнозных ресурсов территорий проводится интегральным или дифференциальным путем или ком-

Таблица 10

Основные методы оценки прогнозных ресурсов

Тип используемой информации	Способ обработки (анализа) исходных данных	Методы оценки прогнозных ресурсов	Предпочтительные применения в стадиях ГРР	Общий вид расчетной формулы	Примеры применения
Комплексная	Параметризования в широком диапазоне масштабов	Геологическая аналогия	1—4	$Q = K \cdot q \cdot U'$	Быховер, 1971 и др
Комплексная	На основе опыта и интуиции специалистов	Экспертные	1—4	—	Быховер, 1971, Канада, США и др КазИМС, (Бугаец), МНИИПУ (Марченко), Агтеберг, 1979 и др
		Математические (геолог-стат)	16—3 $Q_i = Q_j$ при $\alpha \leq D$	$Q = a_0 + a_1x^1 + a_2x_2$ $Q_i = Q_j$ при $\alpha \leq D$	Быховер, 1971, Геол службы Канады, США и др КазИМС, (Бугаец), МНИИПУ (Марченко), Агтеберг, 1979 и др
Комплексная	На основе опыта и интуиции специалистов	Регрессионный анализ по еди-	4—8	$Q_i = kQ_j$	Иванов, 1962, Бергер, 1978 и др
		Регрессионный анализ по еди-	Кларковский	$Q = k \cdot Ck$	McKelvey, 1960, Овчинников, 1971

Тип используемой информации		Способ обработки (анализа) исходных данных	Методы оценки прогнозных ресурсов	Предпочтительное применение на стадиях ГРП	Общий вид расчетной формулы	Примеры применения			
Специализированная	Параметризованная	На основе измерений	Геохимическая	Геохимические региональные	1а	ничным параметрам	н др		
						По эквиваленту миграции элементов	$Q = k \frac{A}{Z}$	Булкин, 1984 и др	
						Энергетический	$Q = \frac{E_{\text{кк}}}{\Delta E} = \frac{1/E_{\text{к}}}{K_{\text{к}} \ln K_{\text{к}}}$	Сафронов, 1976, Никитин, 1978, Булкин, 1984	
						На основе ранговых рядов месторождений	1а—16	$(N_i + N_j) = \left(\frac{Q_{\text{max}}}{Q_m}\right)^{1/\gamma}$ $N = \left(\frac{Q_{\text{max}}}{Q_N}\right)^{1/\lambda}$ $Q = \sum_{N} Q_N \cdot \partial N$	Сафронов, Соловов, Овчинников, Булкин, 1984, Шпильман, 1982, Неженский, Булкин, 1985, и др
						По крупнейшему месторождению	$\ln Q = \alpha \ln Q_m - \beta$	Булкин, Неженский, 1982	
		По ореолам рассеяния			$Q = kA_{\text{гх}}$	Соловов, 1978 и др			

			Геохимические локальные	На основе моделирования гидротермальных систем	16—3	$Q = k Q_{\text{пор}}$ $Q = f(C_{\text{ф}}, \sigma)$	Плющев, Смыслов, Шатов, 1978 и др
	Геофизическая			По геофизическим аномалиям	16—3	$Q = kA_{\text{гф}}$	Соловов, 1970, Мншин, 1976, и др
	Структурная	Использование симметрии в расположении рудозносных объектов		Структурно геометрические	1—2	$Q = \sum Q_{ij} (N_i + N_j)$	Кутла, 1969, Денсенко, Лобков, 1979, Иванов, Лекерова, 1981, и др
	Геолого-экономическая	Экстраполяция во времени и пространстве геолого-экономических показателей		Геолого-экономической экстраполяции	16—8	$Q(T) = \int_0^{T_{\infty}} \left(\frac{dQ}{dT}\right) dT$ $Q(H) = \int_0^{H_{\infty}} \left(\frac{dQ}{dH}\right) \times dH$	Cargill, Root, Veiley, 1980, Zapp, 1962, Булкин, Неженский, 1983, и др
				По сложности геологического строения территорий		$Q = f(R)$	Богацкий, Суганов, 1968, Griffiths, 1978
		Выявление и использование законов распределения случайных величин		По распределению содержания металла	4—8	$\ln Q_m = \frac{\alpha - \bar{C}}{\beta}$	Lasky, 1950, Agterberg, Divi, 1978, Башкиров, Попов, 1981, и др

Тип используемой информации	Способ обработки (выявления) исходных данных	Методы оценки прогнозных ресурсов	Практическое применение на стадиях ГРР	Общий вид расчетной формулы	Примеры применения
Специализированная	На основе измерений	Пара-метры вмещаю-щей среды	16—3	$Q = k \cdot V'_{\text{ср}}$	Клещин, 1978, и др
		Пара-метры ору-дия	5—8	$Q = \bar{C}_n \cdot d \cdot V'$ $V' = L \cdot S \cdot H$	Коннов, 1978, и др
		Извест-ные за-пасы ме-сторож-дений и рудонос-ных пло-щадей	1—8	$Q = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot N_i$	Общего приме-нения
Параметризованная	Прямой расчет	Прямой расчет			
Специализированная	Прямой расчет	Прямой расчет			

Условные обозначения к табл. 10

Q — прогнозные (или общие) ресурсы территорий,
 Q_M — запасы месторождения, \bar{Q}_M — средние запасы месторождения данного класса,
 Q_{max} — запасы наибольшего месторождения,
 Q_N — запасы месторождения с номером N в ранговом ряду,
 Q_i — запасы оцениваемой ячейки,
 Q_0 — запасы эталонной ячейки,
 N_i — число неизвестных месторождений,
 N_j — число известных месторождений,
 N — порядковый номер месторождения в ранговом ряду,
 q — удельная рудоносность эталонной территории,
 d — объемный вес руд,
 A — атомный вес элемента,
 z — валентность,
 V' — геометрические параметры оцениваемой территории
 L — длина, S — площадь, H — глубина, V — объем,
 C_n — кларк, K_n — кларк концентрации, исходя из кондиций руд,
 C_f — фоновые содержания, C_n — промышленные содержания компонента,
 σ — дисперсия содержаний,
 E_{K_k} — общий расход энергии на образование руд градации K_k ,
 ΔE_k — расход энергии на образование единицы объема руды градаций K_k ,
 k — коэффициент пропорциональности или подобия,
 a_0, a_1, \dots, a_n — коэффициенты, характеризующие интенсивность проявления признака
 x_1, x_2, \dots, x_n — геологические, геофизические и другие признаки,
 α, β — коэффициенты уравнений связи,
 $A_{\text{гх}}$ — условная интенсивность проявления геохимических аномалий,
 $A_{\text{гф}}$ — условная интенсивность проявления геофизических аномалий,
 $\alpha < D$ — порог классификации,
 T — время освоения территорий (месторождений),
 H — объем горных работ, вкладываемые средства,
 R — показатель сложности геологического строения территории;
 λ, γ — постоянные рангового ряда

бинацией того и другого подхода. Интегральный путь предполагает суммирование известных и прогнозных ресурсов локальных объектов в пределах оцениваемых территорий (месторождений, рудоносных площадей более высокого порядка). Поскольку интегральный подход приемлем для оценки ресурсов хорошо изученных территорий, последние могут составлять лишь отдельные части рассматриваемой площади.

Дифференциальный путь противоположен по смыслу интегральному. Он базируется на анализе особенностей геологического строения территорий, выявлении закономерностей размещения полезных ископаемых, критериев прогнозной оценки площадей, установлении закономерностей связи рудоносности с особенностями геологического строения территорий. Сам процесс анализа направлен при этом от региональных масштабов к локальным. При оценке прогнозных ресурсов в этом случае особые требования предъявляются к четкости формулирования критериев прогноза, выявлению их значимости и рационального комплексирования. Подобно тому как для выделения перспективных площадей важны критерии, максимально сокращающие прогнозные площади, для количественного прогнозирования необходимы критерии, максимально коррелирующие с запасами полезных компонентов.

Содержание конкретных методов оценки прогнозных ресурсов и вопросы их комплексирования рассматриваются в выпуске применительно к конкретным объектам оценки — металлогеническим провинциям, зонам, рудным районам, полям, перспективным участкам и, следовательно, к соответствующим стадиям геологоразведочных работ. При этом «сквозные» методы условно более подробно описываются при рассмотрении оценки ресурсов объектов какого-либо одного иерархического уровня.

3.1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ

Оценка металлогенического потенциала металлогенических провинций (крупных регионов) может быть произведена по комплексу методов, в число которых входят как теоретические (исходя из региональных кларков, ранговых рядов), так и эмпирические — аналогии, экспертных оценок, структурно-геометрические, региональные геохимические, а также основывающиеся на фактических данных — инвентаризационные (суммируют рассчитанные ранее в пределах провинции прогнозные ресурсы и запасы известных месторождений). При этом теоретические методы, несмотря на то что они наиболее приемлемы именно для мелкомасштабного прогнозирования и поэтому рассматриваются в данном месте, дают лишь самое общее представление о возможных промышленных ресурсах того или иного полезного компонента при очень широком доверительном интервале оценок. Но они могут использоваться в качестве контролирующего инструмента для исключения грубых ошибок в оценках другими методами.

3.1.1. Кларковский метод

Возможные запасы полезных компонентов месторождений и рудоносных площадей различного ранга, их средние и минимальные промышленные содержания зависят от распространенности этих компонентов в земной коре (кларков). На использовании указанных зависимостей основаны различные, но в общем взаимосвязанные способы оценки металлогенического потенциала — кларковский, по эквиваленту миграции элементов, энергетический и некоторые другие. При мелкомасштабном прогнозировании — наиболее детальном для данной группы методов — чаще применяется кларковский метод. Он базируется на зависимости типа

$$Q = K \cdot C_k,$$

где Q — ресурсы оцениваемой территории (земная кора) в целом, планетарные металлогенические пояса, металлогенические провинции и зоны; C_k — земной или региональный кларк; k — коэффициент пропорциональности. Для земной коры в целом устойчивые зависимости промышленных ресурсов элемента от кларка обобщены, в частности, Л. Н. Овчинниковым (1971).

При оценке металлогенического потенциала металлогенических провинций в качестве параметра C_k берутся общерегиональные кларки (фермы), а величина коэффициента K берется по аналогии с другими провинциями или для земной коры в целом из различных литературных источников. Например, Н. В. Никитин [6] приводит такие значения K для различных металлов: молибдена — $0,8 \cdot 10^{11}$, меди — $1,1 \cdot 10^{11}$, железа $1,5 \cdot 10^{11}$, олова, вольфрама — $1,6 \cdot 10^{11}$, свинца — $1,8 \cdot 10^{11}$, сурьмы, ртути — $1,5 \cdot 10^{11}$, хрома — $2,5 \cdot 10^{11}$, золота — $3,6 \cdot 10^{11}$ (при оценке количества металла в верхнем 1,5-километровом слое земной коры). Различные исследователи связывают значения K для отдельных элементов с теми или иными их свойствами (А. Д. Канищев, 1973, А. А. Смыслов [7 и др.]). Региональные кларки рассчитываются также по-разному. Так, при оценке кларковым методом ресурсов Канады по десяти цветным и редким металлам (Garett R. G., 1978) вся ее территория делилась по типам горных пород на три зоны и пропорционально их площади находился общий кларк.

По известным запасам и ресурсам некоторых компонентов определялось значение K . Для региона в целом для всех металлов выделена зависимость

$$Q = (10^{9,8} \div 10^{10,7}) C_k.$$

Имея в виду, что $C_k = m/M$, (где m — масса металла в земной коре, M — масса земной коры), получим $Q = K/M \cdot m$. Здесь величина K/M в такой же мере постоянна, что и K . Поэтому ресурсы металла в промышленных концентрациях (промышленные ресурсы) пропорциональны не только кларку, но и общей массе этого металла в земной коре (геохимические ресурсы).

В. В. Иванов и Р. В. Панфилов (1979) на основе эмпирических материалов получили для большинства элементов отношение K/M , равное в среднем $2,8 \cdot 10^{-7}$. По Г. А. Булкину (1984) этот коэффициент равен $3,8 \cdot 10^{-8}$. В целом пропорциональность запасов элемента в рудах месторождений его среднему содержанию или массе в земной коре при существующих способах определения исходных расчетных параметров имеет статистический характер. Региональные кларки и размеры территорий, а также их металлогенический ранг (при выборе целостных структур) должны быть во взаимодозначном соответствии. Его соблюдение с уменьшением размера и ранга территорий становится все более затруднительным и на уровне металлогенических зон и далее уже мало соответствует элементарной единице однородного геологического строения для месторождений того или иного металла в целом.

3.1.2. Региональные геохимические методы

В последнее время для оценки потенциала металлогенических провинций, зон и страны в целом разрабатываются региональные геохимические методы, базирующиеся на результатах региональной комплексной (литогидрогеохимической) съемки с опробованием по

речной сети (1 точка на 50—100 км²) материала стока малых рек

Первый этап количественной оценки территории заключается в расчете общего геохимического ресурса рудного элемента в пределах аномальной площади, локализованной при съемке

$$Q = d \cdot V C_{ан} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где Q — ресурс рудного элемента, т, d — плотность пород водосборной площади, т/м³, V — объем пород в водосборной площади на заданную глубину, м³, $C_{ан}$ — средневзвешенное на величину площади содержание элемента в контуре аномальной площади за вычетом фона, г/т

Полученные цифры ресурсов позволяют проводить сравнительные оценки площадей. Нормирование содержаний в воде на общую минерализацию и коэффициент водной миграции позволяет перейти от содержания в воде к содержанию рудных элементов в дренируемых водосборных площадях

Доля промышленных руд ($Q_{пр}$) в общем балансе ресурсов рудного элемента определяется из выражения

$$Q_{пр} = \sum_k^n K \cdot Q, \quad (2)$$

где K — коэффициент рудоносности, рассчитываемый для руд с определенным значением кларка концентрации $K_k = C_p/C_k$ на основе представлений об энергии рудообразования Н. И. Сафронова (1978)

Кратко технология прогнозной оценки площади по методике В. С. Комарова [8] сводится к следующему

1 На основе знания фоновых и аномальных концентраций оконтуривается аномальная площадь. Ее размеры ориентировочно должны составлять $n \cdot 1000$ км², только в этом случае можно говорить о выделении геохимического поля рудного района

2 В пределах аномальной площади для главных элементов, определяющих рудно-формационную специализацию района, рассчитываются геохимические ресурсы с использованием зависимости (1)

3 Доля промышленных руд в общем балансе ресурсов определяется из выражения (2)

Методика В. С. Комарова и др. [8] с успехом используется для оценки прогнозных ресурсов больших территорий. Опыт зарубежных исследований по составлению национальных геохимических атласов и использования их для оценки прогнозной перспективности крупных территорий подтверждает целесообразность этих работ. Так, одним из результатов проекта «Атлас», в Финляндии явилось выделение в северо-восточной части Лапландии, в пределах области развития гранулитовых сланцев, обширных полей повышенного фона никеля, идентичных никеленосным районам и связываемых с еще не вскрытыми объектами Печенгского типа

Региональный прогноз проведен также по материалам проекта «Северный Калотт» (совместные работы Финляндии, Швеции и Норвегии). Опробованная территория имеет площадь 300 тыс км². Плотность опробования 1 т на 30 км². В каждой точке отбирались пробы из 6 сред: морена, органическая и минеральная фаза донных

осадков, вода (из поверхностных водотоков), гумус местных почв, водные мхи (бриофиты). Из минеральных проб выделены и самостоятельно проанализированы в полном объеме тонкие (до 62 мкм) и тяжелые (свыше 2,96 г/см³) фракции, размером 62-500 мкм. В результате этих работ выделено 18 провинций и проведено региональное и локальное прогнозирование минеральных месторождений на основе комплексного использования 30 интегральных характеристик (5 геологических, 5 геофизических и 20 геохимических) [Björklund, 1984]

3.1.3. Метод ранговых рядов

Метод применяется для оценки металлогенического потенциала относительно хорошо изученных металлогенических провинций, так как опирается на сведения о запасах уже известных месторождений и требует предварительного проведения их инвентаризации. Теоретические соображения (Булкин Г. А., 1984) и геологоразведочная практика позволяют сделать следующий вывод: распределение объектов одного иерархического уровня, различных по размерам запасов, может быть аппроксимировано одной из множества функций вида убывающей экспоненты, которая отражает основную закономерность распределения месторождений — чем крупнее объекты, тем реже они встречаются. Можно также показать, что функция распределения месторождений в ранговом ряду (то есть в ряду, упорядоченном по запасам) является гиперболой и характеризует обратно пропорциональную зависимость между размером месторождений по запасам и их номерам в ранговом ряду

Если запасы месторождения обозначить через Q_i , его номер в ранговом ряду через N , число месторождений в группах месторождений, принимаемых равными по запасам, через n и средние запасы месторождения в указанных группах через \bar{Q}_i , то приведенные выше закономерности в общем виде записываются как

$$Q_i = \frac{A}{N^\lambda}, \quad (3)$$

$$\bar{Q}_i = \frac{B}{n^\gamma}, \quad (4)$$

где λ и γ — постоянные, характерные для различных типов месторождений и принимаемые при отсутствии соответствующих статистических данных за 1, A и B — постоянные, причем $A = Q_{max}$, $B = Q_{max}$ (то есть постоянные равны запасам наибольшего месторождения)

При анализе рядов типа (4) необходимо придерживаться четкого правила в ранжировании месторождений по запасам. Рекомендуется пользоваться десятичной классификацией, приведенной в табл. 6, при которой средние запасы месторождений в различных группах различаются на порядок

Следует подчеркнуть основной принцип формирования ранговых рядов: выборка месторождений и их генеральная совокупность

должны находиться во взаимном соответствии. Пока эта задача решается скорее на интуитивной основе. Так, можно принять для планетарных металлогенических поясов (и более крупных под разделений, включая планету в целом) за генеральную совокупность месторождения определенного полезного компонента в целом, например месторождения того или иного металла. Для металлогенических провинций в генеральную совокупность включаются характерные для данной провинции месторождения родственных рядов рудных формаций или минеральных ассоциаций (например, колчеданные, редкометалльные и т. п.). Для металлогенических зон могут быть исследованы ранговые ряды месторождений определенной рудной формации (например, медно-цинковые колчеданные, редкометалльные, грейзеновые и т. п.). Использование закономерностей ранговых рядов для оценки прогнозных ресурсов рудных районов и тем более площадей меньшего размера наталкивается на еще большие трудности в определении типа генеральной совокупности месторождений. От этого в определяющей степени зависит достоверность прогноза. На уровне конкретных месторождений в качестве рангового ряда могут выступать запасы конкретных рудных тел.

Из анализа ранговых рядов вытекает ряд следствий, которые могут быть использованы для оценки прогнозных ресурсов территорий разной металлогенической размерности и для выявления особенностей распределения ресурсов и запасов по объектам различного размера.

Произведение запасов месторождения (Q_i) на его номер в ранговом ряду (N) есть величина, постоянная для данного ряда, равная запасам максимального месторождения

$$Q_i \cdot N = Q_{\max}$$

Из этого условия можно решать следующие задачи

1 Зная запасы наибольшего месторождения (из известных), находить порядковый (ранговый) номер месторождения с теми или иными запасами

$$N = Q_{\max}/Q_i$$

2 Определять недостающие члены ранговых рядов — номера и запасы неоткрытых месторождений и, следовательно, оценивать неизвестные прогнозны ресурсы территорий. Для этого по известным членам ряда определяют все возможные произведения $Q_i \cdot N$ и максимальное принимают за постоянную ряда (дело в том, что самое большое месторождение ряда может быть пока не известно или не доразведано и «напрямую» произведение $(Q_i \cdot N)_{\max} = Q_{\max}$, т. к. N при этом равно 1, не получить). Далее из уравнений типа $N = (Q_i \cdot N)_{\max}/Q_i$ уточняется порядковый номер известных месторождений и устанавливаются номера неоткрытых месторождений. По ним из уравнения типа $Q_i = (Q_i \cdot N)_{\max}/N$ вычисляются запасы недостающих месторождений. Суммируя запасы по всем месторождениям, находим общие ресурсы, а по недостающим — неизвестные прогнозны. При этом определяется минимально

возможный прирост ресурсов за счет последующих открытий, так как действительно наибольшее произведение $Q_i \cdot N$ может быть пока и не известно.

3 Зная запасы наибольшего из известных месторождений и зная значение запасов минимального промышленно значимого месторождения (Q_0), можно подсчитать суммарные запасы территории (Q_{Σ}) по формуле

$$Q_{\Sigma} = Q_{\max} \ln \frac{Q_{\max}}{Q_0} \quad (5)$$

4 Зная параметры ранговых рядов, можно определить ожидаемое соотношение числа месторождений различного ранга. Так, из

формулы $\bar{Q}_i = \frac{Q_{\max}}{n_i^{\gamma}}$ вытекает

$$n_1 : n_2 : n_3 = \bar{Q}_3^{\frac{1}{\gamma}} : \bar{Q}_2^{\frac{1}{\gamma}} : \bar{Q}_1^{\frac{1}{\gamma}}$$

где n_1, n_2, n_3 — число крупных, средних и мелких месторождений, а $\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \bar{Q}_3$ — их средние запасы.

Так, при десятичной градации месторождений по классам запасов отношение числа крупных, средних и мелких месторождений при $\gamma=1$ будет как 1 : 10 : 100, при $\gamma=2$ — как 1 : 3 : 10 и т. д. Показатель γ , очевидно, специфичен для различных формационных и промышленных типов месторождений. Кроме того он зависит и от так называемого «геологоразведочного фильтра», предопределяющего меньший учет мелких месторождений (особенно ниже определенного порога запасов) и т. п. Этот фильтр, в свою очередь, также специфичен для месторождений разных типов.

Проиллюстрируем рассмотренный подход на условном примере (табл. II, рис. 1). В пределах относительно хорошо изученной металлогенической провинции известно 10 редкометалльных месторождений полевошпат-гумбейтовой, грейзеновой, скарновой формаций. Ранжировав эти месторождения по запасам, получим эмпирический ранговый ряд месторождений с порядковыми номерами N_i^0 (гр. 1 табл. II) и запасами Q_i^0 (гр. 2).

Вычислив произведения $Q_i^0 \cdot N_i^0$ (гр. 3), находим что максимальное произведение равно 1700. Зная его, можно определить действительный порядковый номер каждого месторождения в полном («теоретическом») ранговом ряду — N^T (гр. 4), пропущенные номера месторождений (гр. 5) и запасы Q_i^T пропущенных (пока не известных) месторождений (гр. 6). Далее прогнозны ресурсы и общий потенциал металлогенической провинции можно определить двумя путями:

а) соответственно как сумму запасов неизвестных месторождений ($\Sigma Q_i^T = 2215$) — прогнозны ресурсы и сумму запасов известных месторождений (ΣQ_i^0) и неизвестных ($Q_{\Sigma} = \Sigma Q_i^0 + \Sigma Q_i^T = 6050$) — общий потенциал провинции,

б) по формуле (5) определяем общий потенциал провинции

Таблица 11

Условный пример расчета прогнозных ресурсов (металлогенического потенциала) вольфрама металлогенической провинции методом анализа рангового ряда известных месторождений

Порядковый номер месторождения в алфавитном ранговом ряду N_i^*	Запасы месторождения Q_i усл. ед.	$Q_i^* \cdot N_i^*$	Порядковый номер месторождения в теоретическом ранговом ряду $N_i^T = (Q_i \cdot \lambda^*)^{\max} / Q_i$	Пропущенные номера и теоретическое ранговое число N_i^T	Запасы пропущенных месторождений $Q_i^T = (Q_i \cdot N_i^T)_{\max} / N_i^T$
1	1700	1700	1	4	425
2	800	1600	2	5	340
3	500	1500	3	6	273
4	200	800	8	7	243
5	150	750	11	9	190
6	130	780	13	10	170
7	100	700	17	12	140
8	90	720	19	14	120
9	85	756	20	15	113
10	80	800	21	16	106
				18	95

 $\Sigma Q^* = 3835$ $\Sigma Q^T = 2215$

$Q_2 = Q_{\max} \ln Q_{\max} / Q_0 = 5170$, а после вычитания из него запасы известных месторождений ($\Sigma Q = 3835$) получим прогнозные ресурсы $\Sigma Q^T = 1335$.

Как видим, совпадение результатов при расчетах обоими способами вполне удовлетворительно для объектов регионального уровня. Следует заметить, что при приведенных расчетах параметр λ в ранговом ряду типа (3) принимался равным 1 — для простоты расчетов и исходя из соответствия такому предположению начальных, наиболее полно представленных членов ряда.

Покажем, как по указанным данным можно рассчитать значение параметра γ в ранговом ряду типа (4). Для этого прежде всего разобьем ранговый ряд типа (3) на классы, чтобы перейти к ряду типа (4). Принятая нами десятичная градация запасов месторождений по классам крупности наилучшим образом соблюдается при разбиении ряда на два класса. В первом классе будут три месторождения ($n_1=3$) со средними запасами 1000 ед. ($\bar{Q}_1=1000$). Во втором классе будет 18 месторождений ($n_2=18$) со средними запасами 170 ед. ($\bar{Q}_2=170$). Параметр γ определим из условия $\bar{Q}_1 \cdot n_1^\gamma = \text{const}$. Для рассматриваемого случая можно записать:

$$\bar{Q}_1 \cdot n_1^\gamma = \bar{Q}_2 \cdot n_2^\gamma = \text{const},$$

т. е. $1000 \cdot 3^\gamma = 170 \cdot 18^\gamma$, откуда $1000/170 = (18/3)^\gamma$, $6 = 6^\gamma$, т. е. $\gamma=1$.

Соотношения числа крупных и средних месторождений в данном ряду: $n_1 : n_2 = Q_2^\gamma : Q_1^\gamma = 1 : 6$ (при строго десятичной классификации — 1 : 10).

74

3.1.4. Метод расчета по запасам наибольшего месторождения

На особенностях ранговых рядов основывается также способ оценки металлогенического потенциала в рамках металлогенических провинций и металлогенических зон по запасам наибольшего месторождения. Показано (Булкин Г. А., Неженский И. А., 1983), что запасы (Q) металлогенической провинции (для месторождений того или иного металла) или металлогенической зоны (для месторождений определенной рудной формации) связаны с запасами максимального месторождения (Q_{\max}) линейной зависимостью типа

$$\ln Q = \alpha \ln Q_{\max} + \beta, \quad (6)$$

где α и β — коэффициенты линейного уравнения, причем $\alpha = \text{tg } \gamma$ и γ — угол наклона линии к оси абсцисс.

В табл. 12 приведены параметры связи Q и Q_{\max} для восьми металлов, полученные при анализе данных нескольких металлогенических провинций. Запасы провинции считались суммарно по металлам без учета формационного, генетического или промышленного типа месторождений. Эти параметры могут быть использованы как эмпирические коэффициенты при решении аналогичной задачи для данных металлов по другим провинциям. Устанавливается, что по мере перехода от относительно распространенных металлов к более редким значениям коэффициенты α возрастают, а β — падают. Между ними существует значимая ($r > 0,99$) связь:

$$\alpha = 1,00 - 0,062\beta. \quad (7)$$

Таблица 12

Коэффициенты корреляции и линейного уравнения регрессии для некоторых металлов

Металл	Число пар данных по регионам	Коэффициенты (K)		Угол γ наклона линии формула (6)	
		корреляции	уравнения регрессии α β		
W	14	0,931**	0,904	1,94	42,11
Hg	11	0,531	—	—	—
Sb	9	0,692*	0,848	2,78	40,28
Sn	15	0,721**	0,763	3,36	37,29
Pb(Zn)	23	0,603**	0,512	7,71	29,32
Cu	38	0,625**	0,439	9,90	23,72
Ni	12	0,632*	0,348	9,50	19,19
Mn	9	0,435	—	—	—

Примечание. Звездочками обозначены значимые коэффициенты корреляции двумя — со значимостью 0,99, одной — 0,95, без звездочки — менее 0,95

75

Эти коэффициенты, следовательно, коррелируются с кларками. Так, для шести металлов (отмечены звездочками в табл. 12) корреляция значений с кларком (C_k) составляет $r = 0,91$ (при значимости $>0,95$), а уравнение регрессии выглядит так:

$$\beta = 1,29 \cdot 10^5 C_k + 3,17. \quad (8)$$

Используя уравнение типа (3) — (4), можно для различных металлов найти теоретически обоснованные зависимости общих провинциальных запасов (Q) от запасов наибольшего месторождения (Q_{\max}). Например, для молибдена такая зависимость имеет вид $\ln Q = 0,797 \cdot \ln Q_{\max} + 3,28$, для ртути: $\ln Q = 0,805 \cdot \ln Q_{\max} + 3,15$, для вольфрама: $\ln Q = 0,904 \ln Q_{\max} + 1,94$ и т. д. Если мы воспользуемся данными табл. 13, то, согласно последнему уравнению, общие ресурсы провинции составят: $\ln Q_2 = 0,90 \cdot \ln 1700 + 1,94$; $\ln Q_2 = 0,904 \times 7,44 + 1,94 = 8,66$; $Q_2 = 5768$ усл. ед.

Если сравнить полученный результат с приведенными выше оценками по ранговым рядам (6050 и 5170) то увидим, что он вполне укладывается в доверительный интервал, являясь промежуточным и, вероятно, наиболее точным из них.

Среди эмпирических методов оценки металлогенического потенциала при данном масштабе исследований, как и при исследованиях любого масштаба, наиболее приемлемым является метод аналогии. Детально он будет рассмотрен при изложении методов оценки металлогенических зон. Здесь же отметим, что сравнение металлогенических провинций по аналогии производится по естественным ассоциациям рядов геологических формаций, предопределяющих развитие соответствующих ассоциаций рядов рудных формаций, обычно с преобладающим развитием одного-двух, реже более рядов. Помимо тех или иных ассоциаций рядов магматических, метаморфических, осадочных формаций с определенными петрохимическими или литологическими особенностями, важно установить и аналогию в их тектоническом положении. В качестве параметров рудоносности в этом масштабе чаще выступает не удельная рудоносность эталонных провинций, а количество и размеры месторождений определенного металла, или ассоциации родственных рудных формаций, или общее количество ресурсов данной провинции, как правило, включающее не только известные запасы, но и прогнозные ресурсы эталонной территории.

В данном масштабе метод ранговых рядов приобретает особое значение, поскольку дает возможность уточнить распределение ресурсов по объектам различного ранга на довольно обширной территории, когда рассредоточение ресурсов является отрицательным экономическим фактором. Различия в оценке ресурсов по методам аналогии, ранговых рядов и оценки запасов наибольшего месторождения позволяют уточнить общую картину распределения ресурсов: связаны ли неоткрытые ресурсы провинции с новыми месторождениями, с недонзученностью (недоработкой) известных или с теми и другими обстоятельствами.

Практически во всех металлогенических провинциях имеются

более локальные объекты (металлогенические зоны, рудные районы и поля, месторождения полезных ископаемых), в той или иной мере изученные, с известными запасами и (или) прогнозными ресурсами. В этом случае при оценке металлогенического потенциала любыми методами производится «инвентаризация» известных сведений по оценке ресурсов и запасов с тем, чтобы выделить в общей оценке потенциала новую составляющую (которая при переоценке может быть и отрицательной, то есть привести к сокращению прогнозных ресурсов с учетом дополнительных данных).

3.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ЗОН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАСШТАБА 1:1 000 000 — 1:500 000

Металлогенические зоны являются объектами оценки прогнозных ресурсов (металлогенического потенциала) при региональных исследованиях масштаба 1:500 000 и мельче. Им свойственен ряд особенностей, предопределяющих предпочтительные методы их *прогнозной оценки*. Они представляют собой образования одной или нескольких завершённых стадий тектоно-магматического (седиментационного) цикла и могут рассматриваться как целостные структуры, для которых проведена их типизация [20]. Им свойственны определенные ряды геологических и рудных формаций. Поскольку практически для каждой конкретной металлогенической зоны может быть найдена эталонная (лучше изученная) зона с известными или достоверно прогнозируемыми ресурсами и запасами, одним из основных методов оценки является метод аналогии. При этом эталоном (модельным объектом), обладающим определенными усредненными характеристиками рудоносности, является уже сам тип металлогенической зоны (см. рис. 1).

Для структур рассматриваемого иерархического уровня полную генеральную совокупность представляют уже не месторождения того или иного полезного ископаемого (например, металла), а месторождения определенной рудной формации. Именно к ним для контроля оценки прогнозных ресурсов по аналогии и выявления их распределения могут быть применены методы ранговых рядов, оценки запасов наибольшего месторождения, а также структурно-геометрический и экспертные.

3.2.1. Метод аналогии

Принцип аналогии используется в большинстве методов. В данном случае имеется в виду метод, целиком базирующийся на принципе вероятностного подобия: наиболее вероятно, что сходным геологическим обстановкам со сходной историей развития будет свойственно близкое по типу и масштабам оруденение. Метод аналогии применяется на различных стадиях геологоразведочных работ,

но наиболее эффективен для целостных структур, каковыми являются металлогенические (структурно-формационные) зоны.

При прогнозировании по аналогии анализируются две группы объектов: эталонные или модельные (рудоносные) и оцениваемые (потенциально рудоносные). Те и другие должны принадлежать к одному иерархическому уровню. Чем определеннее эти объекты ограничены в пространстве, тем надежнее оценка ресурсов по аналогии. В качестве эталонных выбираются хорошо изученные объекты, отвечающие по детальности исследования по крайней мере следующей — по сравнению с изученностью оцениваемых объектов — стадии геологоразведочных работ, с известными общими ресурсами минерального сырья. Эталонными могут быть также модельные объекты с усредненными характеристиками геологического строения и рудоносности.

Таким образом, в основе прогнозирования по геологической аналогии должна лежать типизация территорий по тем или иным признакам, то есть создание типовых «металлогенических моделей», предопределивших вид и вероятностные масштабы рудоносности. В конечном счете прогнозирование по аналогии базируется на выявлении взаимосвязей масштаба проявления рудоносности с историей развития геологических структур. Основным подходом при этом является развиваемый главным образом в СССР структурно-формационный анализ (см. гл. I «Научно-методические основы...» и др.). Кстати, он позволяет определить и основные элементы геолого-экономической оценки металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов: ожидаемый формационный или геолого-промышленный тип месторождений, пределы колебания их размеров, содержания полезных компонентов в рудах, комплекс полезных ископаемых (основных и сопутствующих) и др.

Общий порядок работы при оценке прогнозных ресурсов по методу аналогии следующий.

1. Выбираются рудоносные территории, для которых геологически обоснована перспективность на те или иные виды минерального сырья, и требуется определить их прогнозные (или общие) ресурсы.

2. Анализируются существенные геологические, геохимические, геофизические, структурные, аэрокосмические и другие необходимые признаки объекта, позволившие выделить его в качестве однородной на данном иерархическом уровне геологической позиции. Для металлогенических зон это прежде всего определенный структурно-формационный комплекс (ряды геологических формаций, обуславливающие определение группы рудных формаций).

3. По группе признаков оцениваемые объекты относятся к определенному типу металлогенических зон. Еще раз подчеркнем, что в качестве определяющих выступают соответственно такие признаки, как ряды геологических формаций и геологические формации, служащие «определятелем» типа объекта, вида и размеров ожидаемой рудоносности.

4. В пределах или вне исследуемой территории выбирается

эталонный (хорошо изученный или модельный) объект того же геологического типа с известными ресурсами соответствующих полезных ископаемых. При этом важна не столько пространственная, сколько геологическая (по сопоставляемым признакам) близость эталонных и оцениваемых объектов (сходство по составу и строению формационных подразделений, возраст оруденения и т. д.). Сравнение оцениваемых площадей с эталонными, где имеются известные месторождения того же типа, что и предполагаемые, обеспечивает соответствие параметров прогнозных ресурсов современным или перспективным требованиям промышленности к качеству и количеству запасов минерального сырья.

5. Определяется степень подобия оцениваемого и эталонного объектов — на качественном (по числу совпадающих существенных признаков) или количественном (например, по алгоритму распознавания образов) уровнях.

6. С учетом степени подобия эталонного и оцениваемого объектов, а также по другим признакам (например, наличие отрицательных рудоконтролирующих факторов на оцениваемом объекте) выбирается или рассчитывается поправочный коэффициент K (называемый также коэффициентом подобия).

7. С учетом промышленных кондиций и глубины подсчета рассчитываются общие ресурсы минерального сырья оцениваемой территории (Q) по так называемой формуле Быховера (1973), или близкой к ней:

$$Q = K \cdot q \cdot V, \quad (9)$$

где q — удельная рудоносность (продуктивность) эталонной территории; V — геометрические параметры оцениваемой площади.

Общие (суммарные) ресурсы складываются из неизвестных прогнозных ресурсов и известных ресурсов и запасов. Поэтому, если на оцениваемом объекте известны учетные запасы и прогнозные ресурсы данного вида сырья, то они для определения неизвестных прогнозных ресурсов вычитаются из общих ресурсов.

Таким образом, для оценки прогнозных ресурсов по методу аналогии должны быть получены три группы параметров:

1) геометрические параметры (V) оцениваемой перспективной территории (длина, периметр, площадь, объем) или ее рудоконтролирующих элементов (протяженность рудоконтролирующих разломов, площадь выхода магматических пород определенной продуктивной формации, объем благоприятного литологического (стратиграфического) горизонта и т. д.);

2) параметры рудоносности эталонной территории, обычно удельной рудоносности (q), выраженной на единицу длины, площади, объема, числа месторождений того или иного масштаба, структуры и т. п.

3) параметры, оценивающие степень сходства (аналогии или коэффициент подобия K) геологического строения эталонной и оцениваемой территории, величина которых обычно определяется по нескольким признакам: степени сходства положительных и отрица-

Значение удельных рудоносностей (q , т/км²) структурно-металлогенических зон для некоторых рудных формаций в типовых геологических обстановках (По данным И. А. Неженского, С. Н. Изнаирского, С. А. Новолинской, 1983)

Рудные формации (в скобках металл, для которого рассчитана q)	Пределы колебаний значений q	Наиболее вероятные значения q	Вероятности
Железородная кремнистогематитовая (Fe)	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^4$	0,6
Железородная оолитовая (Fe)	$1 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$(1-5) \cdot 10^5$	0,8
Титанистых магнетитов (Fe)	$3 \cdot 10^5 - 9 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^5$	1
Апатит-редкометалло-железородная карбонатитовая (Fe)	$3 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0,7
Железородная скарновая (Fe)	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0,6
Железородная магнезио-ферритовая скарновая (Fe)	$4 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$	$(4-6) \cdot 10^4$	1
Апатит-железородная (Fe)	$5 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4$	$(5-8) \cdot 10^4$	1
Железородная кварцитовая, гематит-магнетитовый тип (Fe)	$4 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0,6
Железородная кварцитовая, магнетит-гематитовый тип (Fe)	$2 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$	$(2-5) \cdot 10^5$	1
Кор выветривания, маритовый тип (Fe)	$n \cdot 10^4 - n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4 - (1-2) \cdot 10^5$	—
Кор выветривания, тип бурых железняков (Fe)	$n \cdot 10^3 - n \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	—
Хромитовая с платиноидами (Cr)	$n \cdot 10^2 - 3 - n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	—
Медно-цинковая колчеданная (Cu)	$n \cdot 10 - 880$	100—200	0,3
То же (Zn)	$n \cdot 10 - 500$	$n \cdot 10$	0,8
Медно-свинцово-цинковая колчеданная (Cu)	$n \cdot 10 - 400$	100—200	0,5
То же ($Pb + Zn$)	$n \cdot 10 - 1400$	100—200	—
Медистых песчаников (Cu)	$n \cdot 10 - 1500$	300—600	0,2
Медно-цинковая черносланцевая (Cu)	10—160	50—600	0,3
Сульфидная медно-никелевая (Cu), авлакогенный тип	450—4000	?	—
Сульфидная медно-никелевая (Cu), рифтогенный тип (в связи с габброверлитовой формацией)	$n \cdot 10 - 500$	400?	—
Сульфидная медно-никелевая (Cu), рифтогенный тип (в связи с перидотит-пироксенит-норитовой формацией)	$n \cdot 10 - 200$	100?	—
Сульфидная медно-никелевая (Ni)	$n - 1000$	10	0,7
Медно-молибденовая порфировая (Cu)	$n \cdot 10 - 900$	100—200	0,4
То же (Mo)	—	7—9	—
Медно-свинцово-цинковая ($Pb + Zn$)	$n \cdot 10 - 200$	10	0,8
Свинцово-цинковая карбонатная ($Pb + Zn$)	$n \cdot 10 - 400$	100—200	0,6
Железо-марганец-свинцово-цинковая ($Pb + Zn$)	500—1 200	500—800	0,5
Ртутная опалитовая (Hg)	$n \cdot 0,01 - 2$	$n \cdot 0,1$	0,8
Ртутная листовитовая (Hg)	$n \cdot 0,01 - 4$	1—2	0,5
Ртутная арриллизитовая карбонатная (Hg)	$n \cdot 0,01 - 6$	$n \cdot 0,1$	0,6
Ртутная арриллизитовая терригенная (Hg)	$n \cdot 0,01 - 10$	$n \cdot 0,1$	0,5

тельных рудоконтролирующих факторов, целевой изученности оцениваемой территории, возрастного отличия минерализации и т. п. Таким образом, вводится несколько (обычно) «понижающих» поправочных коэффициентов или один совокупный коэффициент K ($0 < K < 1$). При автоматизированной разбровке площадей степень сходства сопоставимых территорий может оцениваться более объективно в тех же пределах колебания K , в этом случае количественно характеризующего уровень подобия перспективной площади. Уровень подобия эталона при этом принимается за 1.

Разнообразие способов подсчета прогнозных ресурсов по методу аналогии, помимо различного типа коэффициентов K , вносящих существенный элемент субъективности в производимую оценку, определяется также видом геометрических характеристик и зависящей от него удельной рудоносности. Чаще всего при региональных оценках используется удельная рудоносность на единицу площади (S), выражаемая в т/км² для большинства полезных ископаемых или в кг/км² для таких металлов, как золото, платина, иногда серебро. В этом случае глубина прогнозирования на эталонных и оцениваемых объектах должна быть одинаковой, или значения удельной рудоносности эталонных объектов должны быть пересчитаны с поправкой на глубину оцениваемого объекта или на объемное выражение (т/км³).

Во всех случаях вся площадь (или объем) эталонных и оцениваемых территорий принимается на данном уровне обобщения однородной, одинаково характеризующейся в любой точке данной удельной рудоносностью. Необходимые для расчетов по методу аналогии значения удельной рудоносности (табл. 13) получают исходя из геометрических параметров и параметров рудоносности эталонных объектов ($q = Q/V$). Надежность получаемых оценок металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов во многом определяется статистически выявленным диапазоном колебаний значений удельной рудоносности. Закон распределения оценок прогнозных ресурсов будет подобен закону распределения значений удельной рудоносности. Для расчета наиболее вероятной оценки прогнозных ресурсов очевидно следует пользоваться и наиболее вероятным значением удельной рудоносности.

Исходя из площади металлогенических зон ($n \cdot 10\ 000$ км²) и их удельной рудоносности можно указать их ожидаемые ресурсы (уровень металлогенического потенциала) на различные виды полезных ископаемых. Например, $n(100-1000)$ тыс. т WO_3 (в зависимости от ожидаемой рудной формации); $n \cdot 100$ тыс. т Sn , Sb ; $n(1-10)$ млн т Cu , Zn , Pb ; $n(10-1000)$ млн т Cr ; $n(1-10)$ млрд т Fe и т. д. При этом вполне закономерно, что основная часть ресурсов будет сосредоточена в нескольких или даже в одном-двух месторождениях.

Метод аналогий может применяться и с использованием количественных моделей месторождений, разработанных, в частности, Д. Коксом и Д. Зингером [25] (табл. 14, рис. 2). Вариации

Продолжение табл 13

Рудные формации (в скобках металл для которого рассчитана q)	Пределы колебаний значений q	Наиболее вероятные значения q	Вероятности
Ртутная флюорит сурьмяная джасперовидная (Hg)	$p \cdot 0,1 - p$	$p \cdot 0,1$	1
То же (Sb)	$p \cdot 0,1 - p \cdot 10$	—	—
Сурьмяная и вольфрамо сурьмяная аргиллизитовая (Sb)	$p \cdot 0,1 - p \cdot 10$	$p \cdot 0,1$	0,7
Золото-сурьмяная безрезитовая (Sb)	$p \cdot 0,1$ $p \cdot 10$	p	0,5
Сурьмяная сульфосоляно-полисульфидная безрезитовая (Sb)	$p \cdot 0,1 - p \cdot 100$	p	—
Никелевая силикатная (Ni)	—	50 - 60	0,4
Вольфрамовая редкометаллическая грейзеновая (WO ₃)	$p \cdot 0,1 - 20$	p	0,6
Вольфрамовая скарновая (WO ₃)	$m \cdot 0,1 - 30$	p	0,5
Вольфрамовая гумбентовая (WO ₃)	—	$p \cdot 10$	—
Касситеритовая силикатно-сульфидная (Sn)	3 - 7	—	1
Касситеритовая кварцевая (Sn)	2 - 28	—	0,75

запасов руды в различных геолого-промышленных типах месторождений ограничиваются, как правило, собственными диапазонами, что позволяет скорректировать оценки, получаемые через удельные рудоносности зон. Вариации запасов руды в различных геолого-промышленных типах месторождений ограничиваются, как правило, собственными диапазонами, что позволяет скорректировать оценки, полученные через удельные рудоносности зон.

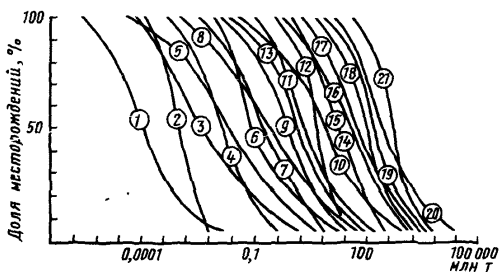


Рис 2 Распределение запасов руды основных типов рудных месторождений, по Д. Коусу и Д. Зингеру [25]

Таблица 14

Количественные модели основных геолого-промышленных типов месторождений цветных металлов. По Д. Коусу и Д. Зингеру [25] с уточнениями и дополнительными подсчетами А. И. Крицкова

М-М, п/п	Тип месторождения (примеры объектов) основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au п/п)	Число объектов в выборке, ме	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов в %		Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов тыс. т (t)
			в 100 % рудных объектов	в 30 % объектов	в выборке	в 10 % объектов	в 30 % объектов		
1	Медно-порфирировые (подтип Рут, США) Cu Mo Ag Au Cu Mo Au Ag Au Cu	18	320	20	79,6	0,51	1,02	—	810
		18	—	—	—	0,022	0,02	—	17
		18	—	—	—	12	4,78	—	350,8 т
		9	—	—	—	0,83	0,32	—	262,2 т
		6	—	—	—	—	—	50,1	—
		6	—	—	—	—	—	1,15	—
2	Молибден-меднопорфирировые (подтип Бингхам, США) Cu Mo Ag Au Cu Mo Au Ag Au Cu	208	1 100	19	144,2	0,31	0,53	—	780
		208	—	—	—	0,94	0,012	—	20
		103	—	—	—	0,03	1,65	—	238,2 т
		76	—	—	—	2,6	0,12	—	17,3 т
		81	—	—	—	0,4	—	44,1	—
3	Медно-молибден-порфирировые (Бренда, США) Cu Mo Ag Au Cu Mo Au Ag Au Cu	16	2 100	120	—	0,26	0,41	—	2 080
		16	—	—	—	0,035	0,007	—	102
		16	—	—	—	4,2	0,36	—	611,2 т
		16	—	—	—	0,043	1,20	—	—
		16	—	—	—	—	—	1,14	—

№№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов) основные рудообра- зующие элементы % (Ag и Au г/т)	Число объектов в выбор- ке	Средние запасы руды млн т			Средние содержания металлов			Отношения сред- них содержаний металлов	Средние запасы металлов тыс т (г)
			в 10 % крупных объектов	в 90 % объек- тов	в вы- борке	в 10 % крупных объектов	в 90 % объек- тов	в вы- борке		
4	<i>Au Ag</i> <i>Au Cu</i>							1 120 1 410 000		
	Молибден-порфи- ровые (подтип Эндано, Канада)	33	560	16	94					
5	<i>Mo</i>	33				0,13	0,055	0,085	80	
	Молибден порфи- ровые (подтип Клай- макс, США)	9	800	46	202					
6	<i>Mo</i>	9				0,29	0,13	0,19	380	
	Золото меднопорфи- ровые (Ок Теди, Па- пуа — Новая Гвинея)	40	400	25	100					
7	<i>Cu</i>					0,72	0,35	0,50	500	
	<i>Mo</i>					0,007		0,003	3	
	<i>Ag</i>					4,0		1,58	158 т	
	<i>Au</i>					0,72	0,2	0,38	38 т	
	<i>Cu Mo</i>									
	<i>Au Ag</i>									
	<i>Cu Au</i>									
Меднорудные скар- новые (Коппер Кань- он, США),	64	9,2	0,03	0,56				166 1 1 4 13 200 1		
<i>Cu</i>	64				4,0	0,7	1,68	9		
<i>Ag</i>	15				36,0		21,40	12 т		
<i>Au</i>	16				2,8		1,71	0,95 т		
<i>Au Ag</i>								1 12		
<i>Cu Au</i>								9 800 1		
8	Медноколчеданные (кипрский тип)	49	17	0,1	1,27					
	<i>Cu</i>	49				3,9	0,63	1,59	20	
	<i>Zn</i>	16				2,1		0,79	10	
	<i>Pb</i>	3						0,05	600 т	
	<i>Ag</i>	15				33		12 68	16 т	
	<i>Au</i>	15				1,9		0 90	1,2 т	
	<i>Cu Zn Pb</i> <i>Au Ag</i>								32 16 1 1 14	
Медноколчеданные (тип Бесси, Япония)	44	3,8	0 012	0,22						
<i>Cu</i>	44				3,3	0,64	1,46	3		
<i>Zn</i>	14				0,4		0,56	1		
<i>Ag</i>	14				9,5		7,86	1,7 т		
<i>Au</i>	14				0,76		0,34	0,07 т		
<i>Cu Zn</i> <i>Au Ag</i>								2,6 1 1 23		
Медистые песчанки (Чамбиши, Замбия)	57	330	1,5	21,9						
<i>Co</i>	10						0,24	52		
<i>Cu</i>	57				4,5	1,0	2 15	470		
<i>Ag</i>	12				23		16,1	354 т		
<i>Cu Co</i>								9 1		
Свинцово-цинковые скарновые (Саксбер- гет, Швеция)	34	12	0,16	1,42						
<i>Cu</i>	17				1,3		0,46	6		
<i>Zn</i>	34				13,0	2,7	5,91	84		
<i>Pb</i>	30				7,6	0,87	3,22	45		
<i>Ag</i>	22				290		114,6	162,7 т		
<i>Au</i>	7				0,46		0,45	0,64 т		
<i>Cu Zn Pb</i> <i>Au Ag</i> <i>Cu Au</i>								1 13 7 1 254 1 020 1		
Жильные полиметал- лические	75	0,2	0 004	0,008						
<i>Zn</i>	75				7,6		2,1	168 т		
<i>Pb</i>	75				33,0	9	2,4	152 т		

№№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов) основные рудообра- зующие элементы % (Ag и Au в г/т)	Число объектов в выбор- ке	Средние запасы руды млн т			Средние содержания металлов			Отношения сред- них содержания металлов	Средние запасы металлов тыс т т)	
			в 10 % крупных объектов	в 90 % объек- тов	в вы- борке	в 10 % крупных объектов	в 90 % объек- тов	в вы- борке			
13	<i>Cu</i>	75				0,89			0,87 1 1 6 300	6,6 т	
	<i>Ag</i>	75				4 700	140	820			
	<i>Au</i>	75				11,0		0,13			
	<i>Zn Pb</i>										
	<i>Au Ag</i>										
	Колчеданно-полиме- таллические (тип Ку- роко, Япония)	432	18	0,12	1,49						
	<i>Cu</i>	432				3,5	0,45	1,26			
	<i>Zn</i>	330				1,9		2,81			
	<i>Pb</i>	184				8,7		0,75			
	<i>Ag</i>	284				100,0		28,8			
<i>Au</i>	238				2,3		0,78				
<i>Cu Zn Pb</i>								1 7 3,7 1	1,2 т		
<i>Au Ag</i>								1 37			
14	Колчеданно полиме- таллические в оса- точных толщах (Сал- ливан, Канада)	45	130	1,7	14,7				1 30 15	27 830 410 636 т	
	<i>Cu</i>	11						0,18			
	<i>Zn</i>	45						5,65			
	<i>Pb</i>	45						2,78			
	<i>Ag</i>	37						43,3			
	<i>Cu Zn Pb</i>										
15	Свинцово-цинковые замещения (Вост Тинтик, США)	52	14	0,24	1,82					4 72 92	
	<i>Cu</i>	35				0,87		0,23			
	<i>Zn</i>	51				19,0	0,82	3,92			
	<i>Pb</i>	52				21,0	1,2	5,06			
16	<i>Ag</i>	45				690		193,2	1 17 22 1 272	352,4 т 1,3 т	
	<i>Au</i>	35				4,4		0,71			
	<i>Cu Zn Pb</i>										
	<i>Au Ag</i>										
	Свинцово-цинковые стратиформные в карбонатных толщах (Вайбурнум, США)	20			34,8						
	<i>Zn</i>	20						4,15			
	<i>Pb</i>	16						1,23			
	<i>Ag</i>	10						4,67			
	<i>Zn Pb</i>										3,4 1
	<i>Zn Pb</i>										
17	Свинцово-цинковые (тип Миссури) и цин- ковые (аппалачского типа)	20	540	2,2	35				4,6 1	1 400 304 16,8 т	
	<i>Zn</i>	20				12	1,4	4,0			
	<i>Pb</i>	20				3,6		0,87			
	<i>Ag</i>	20				19,0		0,48			
	<i>Zn Pb</i>										
18	Свинцово-цинковые в песчаниках (Лайс- валль, Швеция)	20	62	0,47	5,4				1 3,6	310 1 200 13 т	
	<i>Zn</i>	14				3,0	0,23	0,59			
	<i>Pb</i>	20				5,2	0,89	2,15			
	<i>Ag</i>	9				33		11,2			
	<i>Zn Pb</i>										

3.2.2. Методы экспертных оценок

В случае резкой «информационной недостаточности», при отсутствии эталонов, слабой изученности оцениваемого объекта, при прогнозе месторождений новых геолого-промышленных типов, уникальных объектов (и т.п.) применяются методы экспертных оценок. В то же время правильно организованная экспертная оценка может применяться практически во всех случаях оценки прогнозных ресурсов. Ее элементы, как и суждения по аналогии, в той или иной мере присутствуют при оценке любым методом. Часто производится экспертная «корректировка» прогнозных оценок, полученных другими методами.

Оценку прогнозных ресурсов или ее корректировку может производить один эксперт (простая экспертиза) или группа экспертов, то есть используются индивидуальный или коллективный опыт, интуиция и знание исследователей. В последнем случае полученные прогнозные оценки отражают коллективное мнение группы экспертов, превосходящее по надежности индивидуальное суждение.

В настоящее время существует несколько постоянно развивающихся методов экспертных оценок в зависимости от приемов организации опроса, подбора экспертов, последующей математико-статистической обработки результатов опроса (Бешелев С. Д., Гуревич Ф. Г., 1980). При геологическом прогнозе применяются главным образом два наиболее известных из них — Монте-Карло и Дельфи (Белонин М. Д., 1978; Бугаец А. Н., 1986), не считая упрощенных способов организации и обработки экспертных данных путем простого усреднения полученных оценок.

При применении любого метода экспертной оценки можно различать два подхода: экспертная оценка цели прогноза (в нашем случае — прогнозных ресурсов того или иного объекта) и экспертная оценка различных факторов, предопределяющих состояние цели прогноза (в нашем случае рудоконтролирующих, рудолокализирующих, рудовмещающих факторов). В последнем случае оценка прогнозных ресурсов производится по тем или иным формулам прямого расчета. Однако значения входящих в формулу параметров определяются по результатам экспертизы.

Сущность оценки прогнозных ресурсов по методу Монте-Карло заключается в следующем. Каждый эксперт указывает интервал — две крайние оценки прогнозных ресурсов, в некоторых модификациях метода — также и ряд других возможных оценок и их вероятности (так называемые субъективные вероятности). Получив достаточно много таких оценок и предположив на том или ином основании вид функции их распределения, рассчитывают как параметры последнего: среднее арифметическое, моду, дисперсию этих чисел. В качестве наиболее вероятной оценки прогнозных ресурсов принимается среднеарифметическое или модальное значение или указывается вероятностная кривая возможных оценок ресурсов.

Широко известен и другой метод экспертной оценки — метод Дельфи, использующий усредненные данные ряда параллельных экспертиз. Для процедур сбора и обработки данных по методу Дельфи характерны анонимность, регулируемая обратная связь и групповой ответ (Бешелев С. Д., Гуревич Ф. Г., 1980). Анонимность достигается спецификой индивидуального опроса. Регулируемая обратная связь происходит за счет проведения нескольких туров опроса (до 4-5), обработки результатов статистическими методами и сообщения их экспертам. С помощью статистических методов уменьшается разброс индивидуальных оценок и получается групповой ответ, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта.

В настоящее время метод Дельфи широко используется для долгосрочного прогнозирования в различных областях, причем существует множество его модификаций. Описание алгоритма работы по методу Дельфи с приложением программы обработки экспертных оценок на ЭВМ (на языке Алгол-60) приведено, в частности, в книге С. Д. Бешелева и Ф. Г. Гуревича (1980). В этой работе также всесторонне рассмотрены вопросы подготовки экспертиз.

Примеров сложно организованных и тщательных в методическом отношении экспертиз для оценки прогнозных ресурсов объектов различного ранга очень немного. Как уже отмечалось, методически более простые приемы экспертных оценок прогнозных ресурсов, включая оценки, даваемые одним экспертом, распространены довольно широко и практически (во всяком случае, на стадии апробации и утверждения) всегда присутствуют при прогнозных оценках ресурсов минерального сырья любыми методами.

Соответствие металлогенических зон структурно-формационным зонам предопределяет большую роль в их развитии граничных и секущих разрывных нарушений, обычно являющихся рудоконтролирующими. Поэтому применительно к оценке прогнозных ресурсов именно металлогенических зон рассмотрим еще один «сквозной» метод, названный нами структурно-геометрическим.

3.2.3. Структурно-геометрический метод

Основан главным образом на использовании симметрии в расположении рудоконтролирующих разрывных нарушений. Он впервые, по-видимому, был изложен в работах Я. Кутины (Kutina J., 1969), который определил прогнозные ресурсы полезных ископаемых для территории США путем суммирования запасов известных и предполагаемых месторождений, располагающихся в виде правильной геометрической сети с шагом, предопределяемым развитием разломов.

Методика выделения систем глубинных дислокаций, особенно так называемого «скрытого», «сквозного» типа на основе комплексных геолого-геофизических данных, наиболее полно рассмотрена в работах М. А. Фаворской, И. Н. Томсона и др. (1974), Л. Б. Ива

нова, А. А. Лекеровой (1981). Этими исследователями рассмотрены металлогенические особенности регматической решетки планеты и сформулированы ключевые моменты для прогнозирования рудоносности.

Общим положением является то, что указанные системы разломов являются основными «рудоконтролирующими» структурами земной коры, контролирующими размещение крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых. По Л. Б. Иванову и А. А. Лекеровой (1981) более крупные по запасам месторождения контролируются сквозными планетарными системами разломов более низкого порядка: «чем ниже порядок дислокации, тем крупнее приуроченные к ней рудные скопления». На примере Казахстана показана возможность использования подобных закономерностей при региональном металлогеническом анализе. Пояса и зоны повышенной трещиноватости следуют через определенный тектонический «шаг», зависящий от порядка структур. Изменение шага кратно трем. Так, наиболее крупные и хорошо выраженные пояса (мирового масштаба) имеют шаг 2000-2500 км; зоны следующего порядка (например, выраженные на территории СССР) — 650-670 км; выраженные на территории Казахстана — 200-216 км; в масштабе структурно-металлогенических зон — 65-67 км; рудных районов — 20-22 км; рудных полей — 6-7 км.

Геометрические закономерности рудолокализации могут быть использованы и при оценке ресурсов в локальных масштабах вплоть до учета закономерностей размещения участков с богатым оруденением в пределах отдельных рудных тел, горизонтов, блоков. Приведем пример регионального (металлогенические зоны) прогнозирования структурно-геометрическим методом для Центрального Казахстана (по В. К. Денисенко и В. Л. Лобкову [6, 7]). В пределах этого региона распространены две основные системы рудоконтролирующих нарушений: северо-западного и северо-восточного простираний. Эти нарушения геометризуются в виде правильной решетки со стороной ячейки около 45 км. Расположение известных вольфрамовых месторождений по отношению к указанной системе трещин оказалось закономерным: в узлах решетки локализованы наиболее крупные по запасам месторождения, вдоль ее сторон — средние и мелкие, внутри тектонических ячеек — рудопроявления. Распространяя эти закономерности на всю тектоническую решетку, можно подсчитать вероятное число неоткрытых месторождений различного размера и ожидаемые прогнозные ресурсы Q_n (как разность между общими ресурсами Q и уже известными Q_k)

$$Q_n = Q - Q_k; \quad Q = Q_k \cdot N + Q_c(Q_n) \cdot M,$$

где Q_k , Q_c , Q_n — средние запасы соответственно крупного, среднего, мелкого месторождения, N — число узлов решетки (ожидаемое число крупных месторождений), M — число сторон решетки (ожидаемое число средних и мелких месторождений).

$$Q_n = Q_k \cdot N_n + Q_c(Q_n) \cdot M_n.$$

где N_n и M_n — число известных крупных, средних и мелких месторождений.

Другой пример касается оценки прогнозных ресурсов молибдена в пределах Джидинской металлогенической зоны в Забайкалье (по К. А. Маркову и Н. В. Никитину, 1976). Предшествующим металлогеническим анализом было установлено, что более значительные промышленные объекты молибдена приурочены к узлам пересечения редкометалльных рудных зон, а мелкие — к их линейным отрезкам. Получилось, что крупные месторождения располагаются на значительно больших расстояниях друг от друга, чем средние и, тем более, мелкие объекты. Было введено понятие о геохимических «сферах влияния» месторождений, количественной характеристикой которых является так называемый «коэффициент влияния»: отношение площадей развития промышленного оруденения к общей площади перспективных участков. Коэффициент влияния ($K_{вд}$) для разведанных месторождений в Джидинской зоне колеблется от 1/300 до 1/100.

Общие прогнозные ресурсы определились путем сложения прогнозных ресурсов объектов в «узлах пересечения» и в пределах линейных отрезков (мелкие объекты). В последних прогнозные ресурсы (Q) находились по формуле:

$$Q = Q_m \frac{S_{рз}}{S_{дп}} \cdot K_{вд},$$

где Q_m — запасы мелких месторождений, $S_{рз}$ — общая площадь линейных отрезков рудных зон, $S_{дп}$ — средняя площадь мелких месторождений ($\approx (0,5-1) \cdot 10^5 \text{ м}^2$).

Следует отметить, что положение рудоносных зон определялось не с чисто геометрических позиций, а с учетом интенсивности проявления группы рудоконтролирующих факторов. Эта интенсивность выявлялась при помощи «картирования» факторов — методом изолиний.

Несмотря на кажущуюся простоту структурно-геометрического метода, использование его для количественной оценки прогнозных ресурсов часто требует слишком смелых экстраполяций. Метод может быть применен для ориентировочной оценки металлогенического потенциала и в качестве контрольного.

3.3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РУДНЫХ РАЙОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАБОТ МАСШТАБА 1:200 000

Рудные районы, как уже подчеркивалось, являются фрагментами металлогенических зон с относительно четко определяемыми границами распространения обычно одной геологической формации, возникшей в определенный период развития соответствующей металлогенической зоны. Среди рудных формаций выделяется одна или несколько профилирующих. Потенциальные рудные районы, как и металлогенические зоны, также могут

рассматриваться как целостные структуры (интрузивы, палеовпадины, палеоподнятия и др.) с более или менее равной вероятностью выявления месторождений в их пределах. Это обстоятельство позволяет так же, как и при оценке металлогенических зон, широко использовать при оценке прогнозных ресурсов рудных районов (категория P_3) метод аналогии. Иногда уже в этом масштабе сравнение объектов по аналогии и принятие решений об их значимости проводится на статистической основе путем перебора большого количества рудоконтролирующих факторов и признаков с помощью ЭВМ.

При соответствующей геоморфологической обстановке и типе оцениваемого объекта для контроля оценки прогнозных ресурсов по аналогии используются результаты среднемасштабных геохимических и геофизических исследований. Как и в других случаях, в этом масштабе могут быть использованы и различные модификации экспертных методов оценки.

3.3.1. Метод аналогии

При оценке ресурсов по методу аналогии в качестве основного параметра применяется удельная продуктивность (рудноспособность) хорошо изученных районов с разведанными или оцениваемыми месторождениями соответствующего типа. Удельная рудноспособность рудных районов в общем на порядок и более выше удельной рудноспособности металлогенических зон (см. табл. 14). Итак, при оценке прогнозных ресурсов по аналогии на данном иерархическом уровне сопоставляются типы и структуры геологических формаций и обстановки их проявления. Различные варианты подобного сопоставления зависят от типа рудоносных и рудных формаций и подходов отдельных исследователей.

Например, Э. И. Кутырев (1984) при оценке рудных районов, перспективных на обнаружение согласных месторождений меди, свинца и цинка, при сопоставлении по аналогии рассматривал не всю площадь рудного района, а так называемую полезную (рентабельную) площадь (S_p) — площадь поверхности перспективной стратифицированной формации на доступных для освоения глубинах. В отсутствие эталонного рудного района предполагается использовать удельную площадную рудноспособность, выведенную из относительно постоянной (по Э. И. Кутыреву) линейной продуктивности, равной 0,02 млн т/км (см. оценку прогнозных ресурсов металлогенических зон). Если принять глубину отработки 600 м, то в плоскости поверхности рудоносной формации площадная продуктивность будет равна

$$0,02/0,6=0,033 \text{ млн т/км}^2.$$

Н. Г. Крутов [6] при оценке прогнозных ресурсов олова рудных районов Дальнего Востока в качестве потенциально рудоносной рассматривал всю площадь рудных районов. При этом удель-

ная рудоносность, рассчитанная по таким эталонным районам, как Комсомольский, Хинганский, Иппата-Мерекский, выражалась в числе месторождений на 100 км² площади. Она составляла 0,4-0,9 (в среднем — 0,7) месторождения на 100 км². Имеются в виду месторождения силикатно- и сульфидно-касситеритовой формаций.

3.3.2. Метод прямого расчета

В некоторых случаях оценка прогнозных ресурсов рудных районов может быть получена прямыми расчетами по установленным или предполагаемым по аналогии с изученными районами параметрами. Конкретный пример подобного расчета приводится А. И. Жидковым для нового перспективного типа агрохимического, глиноземного и другого сырья кальсилит-калишпатового (сынныритового) состава. Рассматриваемый вид сырья отличается комплексностью и безотходностью переработки и относится к тому редкому случаю, когда рудой является сама горная порода, имеющая определенный минералого-петрографический и петрохимический состав. В качестве полезных компонентов выступают либо слагающие ее породообразующие оксиды и рассеянные элементы (K_2O , Al_2O_3 , Rb_2O и др.), либо порода в целом (как керамическое сырье).

Оценка перспектив щелочных массивов на ультракалийные аломосиликатные руды осуществляется в определенной последовательности. Она начинается с разбраковки и выделения потенциально сынныритоносных участков, основываясь на формационном, петрографо-минералогическом, петрохимическом, геохимическом и некоторых других критериях. Установлено, что перспективными на выявление этого типа минерального сырья являются щелочно-салические и щелочно-мафические формации калиевого и в меньшей степени калиево-натриевого ряда. Среди группы салических фальшпатоидно-сиенитовых формаций главную роль играет псевдолейцит-нефелин-щелочносиенитовая, с которой связаны практически все известные месторождения и проявления сынныритов. Определяющее значение имеет структура и породная ассоциация формации, характеризующаяся определенным качественным и количественным соотношением слагающих ее пород. Выделенные по формационному признаку перспективные массивы подвергаются дальнейшему изучению и разбраковке по другим критериям.

По их совокупности, свойственной обобщенному образу (модели) рудоносного массива, по аналогии выделяются наиболее перспективные объекты и площади для постановки уточняющих крупномасштабных работ. Учитывая эмпирические данные (тип минерального сырья и требования к его запасам), оценке могут подвергаться массивы площадью не менее 5·10 км².

Несмотря на ограниченность известных объектов (четыре рудоносных массива: Сыннырский, Сакусский, Якшинский и Маломурунский), установленные признаки свойственны для всех них и могут быть признаны устойчивыми. Следует подчеркнуть, что

наряду с относительной зависимостью каждого из положительных факторов большая роль принадлежит эффекту их сочетания, существенным образом влияющего на достоверность и надежность прогноза.

Прогнозная оценка щелочных массивов по категории P_3 может быть выполнена по формуле

$$Q_x = k \cdot S_x \cdot h_x \cdot C_c \cdot d,$$

где Q_x — прогнозируемые ресурсы сыныритов, т; S_x — площадь распространения на дневной поверхности калийных фельдшпатоидных и других щелочных сиенитов в прогнозируемом контуре массива, m^2 ; h_x — максимальная глубина распространения рудоносных пород, установленная по естественным выходам, в слабо-расчлененных районах она принимается по косвенным признакам и равна 250-300 м; d — средняя плотность пород, равная $2,60 \text{ г/см}^3$; C_c — коэффициент, отражающий концентрацию сыныритоносности, оцененную по эталонным объектам в 0,1-0,05; K — коэффициент достоверности прогноза, учитывающий степень аналогии с типовыми объектами и отрицательные факторы (его величина может быть принята от 0,2 до 0,6).

Для расчета прогнозных ресурсов каждого из главных полезных компонентов можно исходить из средневзвешенного содержания их в сынырите: 17 — K_2O , 22 — Al_2O_3 и 0,08 % — Rb_2O .

В качестве иллюстрации приведем расчет прогнозных ресурсов по P_3 на примере крупнейшего объекта — Сынырского щелочного массива. Коэффициент достоверности прогноза $K=0,2$, то есть соответствует минимальному значению в связи с отрицательными факторами: мощными вторичными изменениями, развитием даек сиенитов, прослоев шпиров и жил щелочно-основного состава. Имеем $S_x=450$ млн m^2 — площадь распространения фельдшпатоидных сиенитов; $h=300$ м — средняя глубина естественного вскрытия массива; $C_c=0,1$ берется максимальным, как для типового эталонного объекта; $d=2,6 \text{ г/см}^3$ — средняя плотность пород. С учетом этих исходных данных находим оценку массива по P_3 : $Q_x=0,2 \cdot 450 \cdot 000 \cdot 000 \cdot 300 \cdot 0,1 \cdot 2,6=7,020$ млрд т ультравысококалийного алюмосиликатного сырья. Заметим, что только один из наиболее перспективных участков этого массива, где проведены детальные поиски, оценивается почти в 3 млрд т сыныритов.

3.3.3. Метод оценки прогнозных ресурсов на основе площадных геохимических съемок

Объектами оценки прогнозных ресурсов на основе площадных геохимических съемок являются предположительно отвечающие потенциальным рудным районам геохимические аномалии площадью $n \cdot 100$ — $n \cdot 1000 \text{ км}^2$. Помимо площади аномалий в число оценочных параметров входят: пороговые аномальные содержания, площадные или объемные продуктивности объектов; коэффициенты рудоносности, позволяющие от общих геохимических ресурсов

перейти к доле промышленных; коэффициенты соответствия, позволяющие перейти от продуктивности вторичного потока или вторичного ореола к продуктивности в коренном залегании; коэффициент надежности или сходства с эталонами.

Рудно-формационная принадлежность района определяется на основе сопоставления местного геохимического фона ($C_{мф}$) с региональным ($C_{рф}$), что, однако, возможно лишь при надежном исключении систематических расхождений в результатах спектрального анализа. Ранжированный ряд отношений $C_{мф}/C_{рф}$ позволяет выявить элементы, определяющие специализацию площади, и оценить их относительную значимость. В качестве примера можно рассмотреть один из золоторудных районов, металлогеническая специализация которого связана с широким развитием мезозойского щелочного магматизма. Ранжированный ряд отношений $C_{мф}/C_{рф}$ представлен следующими элементами (по убыванию значений $C_{мф}/C_{рф}$):

$Au \rightarrow Ag \rightarrow Mo \rightarrow Bi \rightarrow Cu \rightarrow Pb \rightarrow Co \rightarrow Zn \rightarrow Sn \rightarrow Y \rightarrow Ti \rightarrow Mn \rightarrow Ni \rightarrow Cr$.

Рудные месторождения элементов первой половины ряда, относящиеся по Н. В. Петровской к золото-полисульфидной формации, и россыпная золотоносность определяют экономику района.

На основе комплексных литогидрохимических съемок по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 и мельче оценка прогнозных ресурсов элементов, отражающих специализацию рудного района, может быть получена на основе известной зависимости (см. кларковский метод)

$$Q_i = 10^N C_x, \quad (10)$$

отражающей связь между запасами и кларками элементов в земной коре (Квятковский Е. М., 1977). Для практического использования зависимость (5) трансформируется следующим образом (Квятковский Е. М. и др., 1983):

$$P_i = 10^N C_{фi}, \quad (11)$$

где P_i — суммарная продуктивность i -го элемента, полученная для всей площади, а $C_{фi}$ — значение местного фона.

Продуктивность рассчитывается, как

$$P_i = (C_{ан} - C_{фi}) \cdot \Delta S = \sum \Delta C_i \cdot \Delta S, \quad (12)$$

где ΔS — плотность опробования, $км^2/1$ точку. Возможное завышение прогнозных ресурсов за счет статистической неоднородности фоновых содержаний (определяемой их суммарной дисперсией) может достигать 10—90 % и в простейшем случае может быть исключено введением поправки

$$\Delta P_i = n \cdot 0,85^\delta \cdot \Delta S, \quad (13)$$

где δ — стандартное отклонение фоновых концентраций, n — число точек на оцениваемой площади.

На основе зависимости (12) для каждого элемента рассчитываются значения N , определяющие масштаб ожидаемых месторождений. Показатель $N=8$ соответствует крупным месторождениям, $N=7$ — средним по запасам месторождениям (по классификации В. И. Красникова, 1965) и т. д. При редкой сети опробования выделение мелких объектов носит случайный характер. Правильность оценки прогнозных ресурсов существенно зависит от достоверности оценки коэффициента продуктивности. Так, при его ошибочной оценке в 5 раз и более, погрешность в оценке N составит $\pm 0,7$ единиц, что не позволяет достоверно классифицировать ресурсы. Комплексность опробования позволяет определять прогнозные ресурсы для каждого элемента на основе различных видов опробования, что снижает степень риска прогнозных оценок. В качестве примера можно рассмотреть ранжированные (по N) ряды элементов по результатам литохимического (1) и гидрохимического (2) опробования для одного из районов Южной Якутии (результаты гидрохимического опробования приведены к результатам литохимического опробования пересчетом с учетом региональных коэффициентов водной миграции).

$Ag, Ti \rightarrow Pb \rightarrow Cr, V, Ni, Cu \rightarrow Mn \rightarrow Co \rightarrow Mo, Au \rightarrow Zn \rightarrow Sn$	1
8,7	7,0
$Ag \rightarrow Cr, V, Ti \rightarrow Ni \rightarrow Zn, Mo, Mn \rightarrow Pb, Sn \rightarrow Cu \rightarrow Co$	2
8,8	6,8

В целом полученные ряды близки, некоторые перераспределение халькофильных элементов связано, вероятно, с особенностями их водной миграции, а также, возможно, отражает вертикальную зональность оруденения. В пределах изученной площади прогнозные ресурсы серебра соответствуют крупному по запасам месторождению. Следующим этапом прогнозной оценки территории является конкретизация размещения прогнозных ресурсов на площади, для чего аналогичные расчеты с использованием зависимости (11) делаются для отдельных аномальных участков, выделенных по результатам съемки. Процедура оценки прогнозных ресурсов по методике Е. М. Квятковского, И. Н. Крицук, М. М. Омельченко (1983) кратко сводится к следующему:

1 В пределах площади исследования оцениваются фоновые содержания элементов по общепринятой методике.

2 Выделяются аномальные площади, соответствующие рудным районам и узлам.

3 Для аномальных площадей рассчитываются продуктивности P и вводится поправка ΔP .

4 От аномалий в рыхлом покрове переходят к аномалиям в коренном залегании, используя коэффициенты остаточной продуктивности R и коэффициенты, связывающие продуктивность вторичных ореолов и потоков R' .

5 Исходя из зависимости $P_i = 10^N \cdot C_{\phi}$, рассчитывается параметр $N = \lg P_i / C_{\phi}$ для каждого (i -го) элемента и по величине N судят о прогнозных ресурсах территории.

Определение прогнозных ресурсов рудных районов и узлов на основе литохимических съемок по потокам рассеяния по методике А. П. Соловова подробно описано в действующей инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений [3]. Подсчеты ведутся по формуле

$$Q_{ii}^1 = \frac{1}{K^1 K_{i=1}^m} \sum_{i=1}^m P_{i/40}^1 H, \quad (14)$$

где H — глубина подсчета запасов, выбранная по геологическим соображениям и на основе элементного состава аномалии и представлений о вертикальной зональности, м.

P_i — устойчивые значения продуктивностей отдельных потоков рассеяния по смежным руслам, дренирующим данный участок, $m^2 \cdot \%$.

$K^1 K$ — местные значения коэффициентов соответствия, связывающие значения продуктивности потока и вторичного ореола (P') и вторичного ореола и оруденения в коренном залегании (P). В свою очередь, продуктивность отдельного потока рассчитывается, как

$$P^1 = S_x (C_x^1 - C_{\phi}^1), \quad (15)$$

где C_x^1 — содержание элемента в аллювиально-пролювиальных отложениях, $\%$, C_{ϕ}^1 — фоновые содержания элементов в аллювиально-пролювиальных отложениях, $\%$, S_x — площадь водосбора, на которую опирается точка опробования с координатой x , m^2 .

Предложенная А. П. Солововым формула предназначена для оценки прогнозных ресурсов металла в месторождениях, выходящих на современный денудационный срез на уровне промышленных горизонтов оруденения, ее использование ограничено потоками первых порядков, для которых соблюдается зависимость

$$P_i^1 = f(x) = \text{const}, \quad (16)$$

что предполагает идеальное перемешивание и полный вынос рыхлого материала, поступающего со склонов. Для потоков, в которых происходит некоторое увеличение мощности аллювиальных образований, нарушается динамическое равновесие между количеством рыхлого материала, поступающего со склонов, и количеством материала, выносимого из водосборного бассейна, и не выдерживается зависимость (16). А. П. Солововым и Ю. В. Шваровым (1980) предложена уточненная модель формирования литохимического потока, где истинное значение продуктивности определяется, как

$$P_{\text{ист}}^1 = \lambda \cdot P_{\text{макс}}^1, \quad (17)$$

где λ — поправочный множитель, который определяется из выражения

$$\lambda = \frac{1 - S_{R_0} / S_R}{1 - (S_{R_0} / S_R)^2}, \quad (18)$$

R_0 и R — координаты (x) точек в потоке (расстояния от вершины водораздела вниз по потоку), в которых: R_0 — начинается и R — заканчивается поступление рудного материала из ореола на склоне;

S_{R_0} и S_R — площади водосбора, соответствующие точкам с координатами $X=R_0$ и $x=R$;

α — склоновый коэффициент аллювия, определяющий преобладающую роль материала, снесенного с ближайших склонов. Подробно примеры использования предложенных зависимостей можно найти в работе А. П. Соловова и А. А. Матвеева (1985).

Опыт литохимических съемок по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 и мельче, когда опробуются главным образом потоки второго, третьего и более высоких порядков, показывает, что в этом случае природным закономерностям ближе соответствует уточненная модель А. П. Соловова — Ю. В. Шварова (1980). В то же время при литохимических съемках по потокам рассеяния для оценки продуктивности потоков и соответственно прогнозных ресурсов можно использовать более простые зависимости.

$$P^1 = \sum(C_x^1 - C_\phi) \cdot \Delta S, \quad (19)$$

где ΔS — площадная густота сети опробования аллювия. Сравнительная оценка различных способов расчетов продуктивности потока показала, что отличия в значениях продуктивности, подсчитанной по формулам (11) и (13), не выходят за пределы 10-15 %.

Аналогичные зависимости получил В. П. Бородин (1983), который показал, что с увеличением объектов прогнозирования среднее содержание элемента в отложениях речной сети стремится к его среднему содержанию в элювио-делювии с коэффициентом пропорциональности R^1 ,

$$\lim(C_s - C_\phi) \rightarrow R^1(C_s^1 - C_\phi^1),$$

что позволяет оценивать продуктивность узлов по упрощенной формуле

$$P = KK^1(C_s - C_\phi) \cdot S_0, \quad (20)$$

где P — площадная продуктивность узла в $\text{м}^2 \cdot \%$; C_s^1 — среднее содержание рудного элемента в аллювии для площади узла; S_0 — площадь аномалии, соответствующей рудному узлу. Процедура прогнозной оценки территории на основе расчета площадной продуктивности по методике А. П. Соловова или с использованием упрощенных формул сводится кратко к следующему:

- 1) оценка фоновых содержаний по общепринятой методике;
- 2) выделение аномальных площадей и оценка их рудно-формационной принадлежности с использованием метода аналогии;

- 3) расчет площадной продуктивности с использованием формулы (14) или по упрощенной формуле В. П. Бородина (20);
- 4) расчет прогнозных ресурсов по формуле (14).

Общим недостатком методик, использующих прямые расчеты продуктивности при оценке прогнозных ресурсов, является сложность выделения в общей сумме геохимических ресурсов доли промышленных руд. Использование поправочного коэффициента, предложенного А. П. Солововым для учета промышленных руд и используемого при детальных литохимических съемках [3], вряд ли приложимо к масштабу 1:200 000 и мельче. Для отдельных элементов возможно введение поправки в виде коэффициента продуктивности и коэффициента рудоносности, определяемых эмпирически. Например, для золоторудных полей и узлов, по данным В. В. Сыроватского (1983), соответствующие коэффициенты составляют: коэффициент промышленной рудоносности $K_p \leq 0,1$ (представляет собой отношение площадей промышленно-рудных участков к площади рудоносной толщи), коэффициент продуктивности $K_n = 0,5-0,7$ (представляет собой отношение локальных золоторудных площадей к общей площади рудного узла).

3.3.4. Оценка прогнозных ресурсов на основе статистических геохимических данных

Для оценки перспективных и достаточно изученных рудных районов в масштабе 1 : 200 000 — 1 : 50 000 можно применить сравнительный анализ теоретических и практических кривых распределения запасов в зависимости от содержания (Сафронов Н. И. и др., 1978). Нижним пределом площадей, на которых предлагается методика оценки целесообразна, является рудное поле. Методика оценки прогнозных ресурсов сводится к следующему. Собирается фактический материал по имеющимся на площади рудным объектам (материалы разведки и эксплуатации) и составляются эмпирические кривые распределения запасов по классам содержаний. При этом количество классов содержаний должно быть достаточно велико (≥ 7). Группирование запасов по классам содержаний проводится как для основного элемента, так и для элементов-ступников, если такие оценки могут представлять интерес. С использованием основной формулы теоретического распределения запасов по классам содержаний

$$P^T = \frac{100\%}{K_k} / e^{\alpha(K_k - 1)^n} \quad (21)$$

строится теоретическая кривая распределения запасов, где K_k — кларки концентрации; α , n — эмпирические коэффициенты. Обе кривые совмещаются на одном рисунке и хотя бы в одной точке. Прогнозные ресурсы (Q_{np}) территории определяются для раз-

личных содержаний по разности теоретических и практических значений прогнозных ресурсов (P^T , P^{np}) и суммируются

$$Q_{np} = \sum_{k=1}^n (P^T - P^{np}) \quad (22)$$

На рис 3 приведена схема оценки потенциальной рудоносности площади по Н И Сафронову и др (1978) Теоретическая формула (21) может быть уточнена за счет конкретизации эмпирических коэффициентов (α , n), так, например, при уточнении эмпирических коэффициентов для одного из оловорудных полей теоретическая зависимость (20) была преобразована в

$$P_k = \frac{64,7}{K_k} / e^{9(K_k-1)^{0,5}}$$

В кратком изложении технология оценки ресурсов по Н И Сафронову и др имеет следующий вид

1 В границах выбранной для оценки площади собираются все сведения о содержаниях полезного компонента по горным выработкам, или (и) о запасах полезного компонента по блокам, или (и) сведения о содержаниях и запасах за все время отработки месторождений, или (и) сведения о запасах полезного компонента за определенные периоды эксплуатации месторождений или рудопроявлений

2 Если в процессе сбора материала удается собрать собственно первичный материал о закономерностях распределения запасов по классам содержаний, то строится фактическая кривая распределения запасов по содержаниям, если собран обобщенный материал запасы по годам эксплуатации или запасы по блокам,

то первичная обработка материала состоит в разложении фактических запасов по теоретической кривой При этом запасы руды с определенным содержанием разбиваются на классы с более дробным содержанием согласно теоретической формуле распределения запасов по классам содержаний (21)

3 После расчета запасов по классам по отдельным рудным полям, блокам или годам строится фактическая кривая распределения запасов по классам содержаний для всей площади, на которой ведется прогнозная оценка

4 На этот же график наносится теоретическая кривая распределения Для уточнения эмпирических коэффициентов α и n , в том случае, если мы имеем дело с хорошо

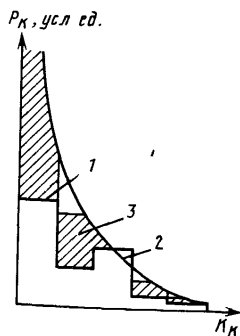


Рис 3 Схема оценки потенциальной рудоносности площадей
Запасы 1 — фактические 2 — рассчитанные по теоретической формуле 3 — переделанные

опоскованной и разведанной площадью, теоретическая кривая совмещается в двух точках с практическим распределением, при этом точки совмещения выбираются в средней части кривой, чтобы исключить ошибки, связанные с выбором бортового содержания и в области высоких содержаний, вероятность встречи которых достаточно мала, после чего решается (относительно α и n) система уравнений

$$P_1 = \frac{1/K_{k_1}}{e^{\alpha(K_{k_1}-1)^n}}$$

$$P_2 = \frac{1/K_{k_2}}{e^{\alpha(K_{k_2}-1)^n}}$$

В результате решения системы уравнений определяются коэффициенты и уточняется теоретическое распределение

5 Оценка прогнозных ресурсов заключается в вычислении разности значений ординат теоретической и практической кривой при абсциссе, соответствующей каждому классу содержаний (см рис 3) Подробное использование предложенной методики и многочисленные примеры изложены в работе Н И Сафронова и др (1978)

Оценка прогнозных ресурсов на основе кривых «структуры ресурсов» предложена В М Питулько (1979) в развитие идей Н И Сафронова и базируется на анализе распределения плотности вероятности ресурсов в зависимости от содержаний полезных компонентов Получаемые зависимости, характеризующие распределение долей прогнозных ресурсов, которые приходятся на каждый изучаемый интервал содержаний, качественно различны в зависимости от масштаба оруденения и степени его концентрации Возможны следующие варианты кривая проходит через максимум, кривая имеет протяженную горизонтальную площадку в зоне максимума или асимптотически насыщается в области высоких содержаний

Очевидно, что для формирования промышленного месторождения необходимо длительное существование благоприятных структурно-металлогенических и физико-химических условий, то есть поддержание текущего равновесия в рудогенной системе В терминах прикладной геохимии это означает длительную равномерную работу геохимического барьера, а в статическом выражении такому условию соответствует постоянство ресурсов, приходящихся на продуктивный диапазон содержаний Чем раньше (то есть при меньших содержаниях) наступает равновесное состояние системы — тем легче поддерживается равновесие (но руды беднее), чем дольше оно длится — тем богаче объект, чем больше его площадь при этом — тем он перспективнее и т д Конечно, исследования заслуживают только устойчивые статические распределения, что необходимо предварительно специально устанавливать

Параметр богатства оруденения R — высота максимума или

горизонтальной площадки кривой ресурсов — имеет объективный характер. С увеличением ранга прогнозируемых объектов гистограммы ресурсов постепенно симметризируются, что связано с падением вклада концентрированного оруднения в общую структуру ресурсов, однако в абсолютном выражении этот вклад неуклонно растет и может быть оценен количественно как доля общих ресурсов, определяющая наблюдаемую асимметрию распределений.

Процедура количественного прогнозирования с использованием частотных законов сводится к следующему.

1. На основе имеющихся в каждом ПГО поисково-разведочных данных создаются эталонные частотные распределения по основным геолого-промышленным группам месторождений, рудным полям и узлам, а также ранжированию по параметру R — типоморфные ряды элементов для различных объектов.

2. По результатам геохимических исследований с плотностью $\text{Iпр}/\text{км}^2$ или результатам площадных геохимических съемок масштаба 1:200 000 территория районирована с помощью ЭВМ на области проявления конкретного частотного закона путем сканирования окном 100 км^2 .

3. В областях проявления перспективных типов частотных законов осуществляется коррекция контуров ожидаемых объектов по геолого-геофизическим данным и мультипликативным геохимическим показателям (информативность оценена на эталонных объектах).

4. В пределах уточненных контуров строятся кривые прогнозных ресурсов основного полезного компонента и 4-6 элементов, контрастно ведущих себя в вертикальном разрезе, чтобы, привлекая аппарат зональности, оценить уровень эрозионного среза объекта, а по виду кривых «структуры ресурсов» выполнить качественный анализ масштаба объекта, уровня концентрации и соотношения доли концентрированной и рассеянной минерализации.

5. По левой ветви частотной кривой содержаний устанавливаются параметры местного фона и оцениваются ресурсы фоновых металлов. Геохимические ресурсы эпигенетического металла определяют с помощью метода крайгинга (Криге, 1978; Матерон, 1968; Колидак, 1974), применяемого к правой ветви частотной кривой и обеспечивающего подбор таких параметров распределения, которые статистически близки по интенсивности асимметрии наблюдаемой кривой.

6. По ряду пересечений через объект (профили длиной 20—50 км) строится пространственная детерминированная модель объекта (рис. 4), с помощью которой осуществляется прямой подсчет общих геохимических ресурсов (в линейном измерении) как интеграла кривой содержаний и прямой подсчет промышленных прогнозных ресурсов как части этого интеграла для заданных бортовых содержаний.

7. При наличии данных крупномасштабных геохимических исследований и геохимических поисков масштаба 1:50 000—

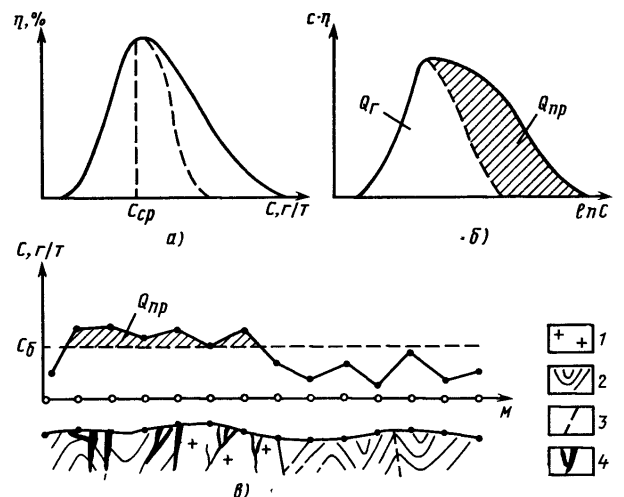


Рис. 4. Схема оценки прогнозных ресурсов с помощью последовательного применения вероятностной и детерминированной модели рудных объектов (по В. М. Питулько, 1979).

а) исходная гистограмма содержания рудного компонента на оцениваемой площади, б) кривая «структуры ресурсов», соответствующая гистограмме (а), в) график изменения содержания рудного компонента по секущему профилю 1 — граниты, 2 — складчатые образования, 3 — разрывные нарушения, 4 — зоны минерализации C — содержание элемента, г/т , η — доля проб с содержанием $C, \%$, C_{cp} — среднее содержание элемента, г/т , M — расстояние по профилю, m , Q_g — ресурсы геохимические, $Q_{пр}$ — ресурсы прогнозные, C_b — бортовое содержание элемента, г/т .

1:10 000 процедура повторяется с изменением размеров (окна) фильтра.

Предложенная методика предпочтительна именно для объектов крупного ранга — больших поисково-прогнозных мишеней (площадью $\geq 100 \text{ км}^2$), выявляемых при региональных геохимических работах, поскольку нелинейные неравновесные системы этого порядка легче стабилизируются, их деятельность поддерживается большими блоками земной коры. Именно на этом уровне наиболее применимы детерминированные модели. При локализации рудогенных процессов все более существенными становятся случайные факторы.

3.3.5. Оценка прогнозных ресурсов по результатам геофизических исследований

Для оценки прогнозных ресурсов металлогенических зон и рудных районов при региональных исследованиях масштаба 1:200 000 и мельче с помощью геофизических данных рекомендуется

использовать результаты гравитационных съемок средних и мелких масштабов и аэромагнитных съемок масштаба 1:200 000 и крупнее. Применение в этих целях глубинных сейсмических исследований ограничено из-за недостаточной информативности этого метода и чрезвычайно редкой сети сейсмических профилей. Для оценки ресурсов рудных районов полезно также использовать гравитационные и магнитные съемки масштабов 1:25 000—1:50 000, представленные в виде сводных карт масштаба 1:200 000 на всю площадь изучаемого рудного района и его обрамления.

Наибольшие возможности для решения всех задач количественного прогнозирования дают гравитационные данные. Это объясняется тем, что практически все месторождения твердых полезных ископаемых имеют устойчивые пространственные и, в ряде случаев, генетические связи с аномалиями силы тяжести. Гравитационные данные позволяют достаточно однозначно выделять рудоносные площади и глубинные рудоконтролирующие структуры разного ранга и оценивать их прогнозные ресурсы. Они также позволяют перейти от плоскостного прогнозирования к объемному в интервале глубин до 10-15 км. Именно в этом интервале концентрируются почти все месторождения твердых полезных ископаемых и важнейшие региональные рудоконтролирующие структуры земной коры. Результаты аэромагнитных съемок обычно дают дополнительную, но очень важную информацию о внутреннем строении выделенных рудоконтролирующих структур и формационной принадлежности прогнозируемого оруденения.

При региональной оценке металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов категории P_3 результаты геофизических исследований используются, как известно, либо совместно с геологическими и геохимическими данными, либо геофизические исследования могут иметь самостоятельное значение. Круг полезных ископаемых, для которых геофизические данные могут использоваться самостоятельно, пока однозначно не определен. Однако несомненно, что к ним следует отнести месторождения железа, олова, вольфрама, молибдена, алмазов, никеля, хромитов, угля, горючих сланцев и др. При использовании геофизических данных в комплексе с геологическими и геохимическими геофизические признаки обычно дают дополнительную информацию о рудоконтролирующих факторах масштаба оруденения, либо непосредственно о рудных месторождениях, если они создают аномальный эффект (месторождения железа, хромитов, урана и др.). Полученная комплексная геологическая, геохимическая и геофизическая информация обычно анализируется геолого-статистическими методами, которые лежат в основе автоматизированных информационно-прогнозирующих систем. По сравнению с геологическими данными результаты геофизических исследований имеют определенные преимущества, а именно:

1) аномалии физических полей, как и запасы месторождений полезных ископаемых, объективно выражаются мерой и числом;

2) объемность и глубинность получаемой геофизической информации;

3) ее равномерность по всей территории;

4) однозначность в определении границ рудоносных площадей разного ранга.

Для количественного прогнозирования по геофизическим данным можно предложить следующие технологические схемы: 1) по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей; 2) путем оценки локальных аномалий, связанных с рудными полями, месторождениями и телами («рудные» аномалии); 3) на основании изучения рудоконтролирующих элементов геологического строения площадей (металлогенических факторов); 4) на основании изучения глубинного строения прогнозирующих объектов (объемное прогнозирование).

В новых, слабо освоенных регионах, где промышленный интерес представляют крупные и средние месторождения, залегающие на небольшой глубине, количественное прогнозирование должно основываться на изучении рудоконтролирующих особенностей геофизических полей, «рудных» аномалий и металлогенических факторов. В горнорудных районах, где основным резервом расширения минерально-сырьевой базы являются месторождения, расположенные на значительных глубинах, геофизические данные рекомендуются использовать для прогнозирования путем изучения глубинного строения металлогенических зон и рудных районов (объемное прогнозирование).

Результаты геофизических работ по количественному прогнозированию отображаются: на структурно-геологических схемах (представляющих собой графическое изображение материалов геологической интерпретации геофизических данных); схемах глубинного строения территорий; картах закономерностей размещения полезных ископаемых.

1. Количественное прогнозирование по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей целесообразно использовать на этапе подготовительных работ для **предварительной оценки** изучаемых объектов. В дальнейшем всю геофизическую информацию переводят на «геологический» язык, т. е. выделяют и оконтуривают как на поверхности, так и на глубине различные рудоконтролирующие факторы масштаба прогнозируемого оруденения и в комплексе с другими методами подсчитывают прогнозные ресурсы.

Рекомендуется следующая технологическая схема количественного прогнозирования по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей: установление пространственных связей известных месторождений и рудопроявлений с различными особенностями наблюдаемых и трансформированных геофизических полей; оконтуривание потенциально рудоносных площадей, соответствующих металлогеническим зонам и рудным районам; выявление геофизических критериев масштабов прогнозируемого оруденения; подсчет прогнозных ресурсов по формулам типа (9) и др.

Для установления связи известных месторождений и рудопрояв-

лений с различными особенностями наблюдаемых и трансформированных геофизических полей предварительно проводят районирование физических полей и выделяют геофизические области и зоны, различающиеся характером поля, его напряженностью, знаком, преобладающим простиранием аномалий и т. д. Такое районирование физических полей выполняют либо визуально, либо путем математической обработки, реализованной в виде различных программ для ЭВМ.

Карты районирования физических полей сопоставляют с картами закономерностей размещения полезных ископаемых и запасами эталонных объектов и выясняют, к каким геофизическим аномалиям, областям, зонам или к их границам пространственно приурочены те или иные месторождения и рудопроявления полезных ископаемых и какие геофизические параметры косвенно связаны с масштабами проявления рудной минерализации. Для более объективной оценки таких связей полезно применять статистические методы анализа, основанные на разных схемах распознавания образов.

Установленные рудоконтролирующие особенности геофизических полей (наблюдаемых или трансформированных) используют для выделения потенциально рудоносных площадей, соответствующих рудным районам, металлогеническим зонам, угольным бассейнам, и для оценки их прогнозных ресурсов по геофизическим характеристикам масштабов проявления прогнозируемого оруденения. При этом учитывают также сведения по смежным регионам с однотипной геолого-тектонической обстановкой. Например, общеизвестная связь оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождений с интрузивами преимущественно кислого и умеренно-кислого состава реализуется в геофизических полях таким образом, что все указанные месторождения располагаются в контурах гравитационных минимумов, имеющих в плане примерно изометричную форму и размеры от 300-500 до 1 500-2 000 км². Интенсивность таких минимумов колеблется от (4-8) до (15-20) · 10⁻⁵ м/с². Однако оказывается, что промышленная рудоносность приурочена только по ограниченному числу минимумов, отличающихся от безрудных по целому ряду признаков.

Для Центрально-Казахстанской редкометалльной провинции установлены следующие признаки промышленной рудоносности гравитационных минимумов: 1) рудоносные минимумы обусловлены частично вскрытыми (площади выхода меньше 30 %) и слепыми массивами гранитов акчатауского комплекса; 2) площади рудоносных минимумов характеризуются сложными аномалиями магнитного поля: наряду с положительными значениями $\Delta T = 200-500$ нТл над отдельными частями таких минимумов зафиксированы отрицательные или слабо положительные магнитные поля.

Для некоторых типов месторождений полезных ископаемых особенности геофизических полей, контролирующие масштабы оруденения, представляют собой сложные сочетания разных признаков, наблюдаемых и трансформированных гравитационных, магнитных и электрических аномалий. В этих случаях для выделения

геофизических признаков рудоконтролирующих факторов и подсчета прогнозных ресурсов следует использовать статистические методы анализа, реализованные в виде автоматизированных информационно-прогнозирующих систем. Из геофизических признаков рудоконтролирующих факторов в такие системы рекомендуется закладывать следующие характеристики физических полей (Сердюков и др., 1982):

- относительный средний уровень поля;
- изменчивость уровня поля;
- относительная ориентированность поля в плане и характеристики вариации простирания поля;
- средняя относительная крутизна аномалий и изменчивость этого параметра;
- изменение уровня поля с высотой и скорость изменения уровня поля по вертикали.

Однако следует предостеречь от чрезмерного увеличения числа анализируемых признаков. Опыт показывает, что решающее влияние на локализацию оруденения и его масштабы оказывает один, два, максимум три признака. Так, Л. Т. Мишиным (1976) показано, что наиболее важными геофизическими признаками масштабов оловянного оруденения Дальнего Востока являются: 1) изменчивость магнитного поля; 2) одновременное наличие положительных локальных аномалий и ореолов рассеяния свинца и олова, соизмеримых по размерам и концентрации; 3) области отрицательной корреляции аномальных значений магнитного поля и вызванной поляризации.

2. Количественное прогнозирование по локальным аномалиям, связанным с рудными полями, месторождениями и телами, выполняется обычно в масштабе 1:50 000 (см. ниже). При региональных исследованиях масштаба 1:200 000 и мельче определенный интерес могут представлять лишь крупные по размерам рудные поля, фиксирующиеся интенсивными геофизическими аномалиями (например, рудные поля штокверковых вольфрам-молибденовых месторождений). Однако прямые и однозначные связи между размерами и интенсивностью таких аномалий, обусловленных определенными структурами, образующими рудные поля, и запасами полезных ископаемых, пока не установлены.

3. Количественное прогнозирование по рудоконтролирующим элементам геологического строения площадей имеет целью выявить по геофизическим данным геологические факторы, контролирующие масштабы прогнозируемого оруденения, а именно: отрицательные структуры, контролирующие угле- и сланцакопление, интрузивы разного состава, жилы и дайки, вулкано-тектонические и складчатые структуры, разломы, поверхности структурных несогласий, литологически разные толщи осадочных образований, зоны метаморфизма, измененных пород и повышенной трещиноватости, депрессии рельефа фундамента различного генезиса, погребенные долины и т. п. По сравнению с геологическими и геохимическими методами определения рудоконтролирующих факторов масштаба

оруденения преимущество геофизических методов заключается в том, что они позволяют выделять нескрытые и перекрытые объекты и тем самым повышать глубинность прогнозно-металлогенических исследований

Технологические схемы использования геофизических материалов при изучении интрузивов, даек и жил, вулканотектонических и складчатых структур, разломов и других геологических элементов подробно рассмотрены в литературе. Технологические операции, описанные в этих работах, одинаково применимы как к рудоносным, так и к безрудным объектам и не дают прямого ответа на вопрос, является ли интересующий нас объект рудоносным и каковы его прогнозные ресурсы. Чаще всего прогнозная оценка выявленных объектов производится геологическими и геохимическими методами, что, естественно, возможно лишь в тех случаях, когда изучаемые объекты доступны прямым геологическим и геохимическим наблюдениям. В прогибных случаях для решения прогнозных задач необходимо прибегать к геофизическим критериям оценки рудоносности объектов. К таким критериям относятся

1) приуроченность объекта к региональным аномалиям физических полей, фиксирующим угленосные бассейны, металлогенические провинции и зоны,

2) характер физических полей, наблюдаемых над объектом,

3) физические параметры объекта,

4) положение контуров геофизических аномалий, наблюдаемых над объектом, относительно его геологических границ.

Особое место при оценке прогнозных ресурсов металлогенических объектов занимает задача выявления геологических ситуаций, благоприятных для локализации крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых. Рудоносные площади, содержащие крупные и уникальные месторождения, также находят свое отражение в аномалиях физических полей. Обычно крупные и уникальные по запасам месторождения приурочены к тем участкам земной коры, сопоставимым по своим площадным размерам с размерами рудных районов, где наблюдаются рудоконтролирующие геофизические аномалии всех порядков (рангов), начиная от региональных (металлогеническая провинция) и кончая локальными (рудный район). Так, для крупных месторождений алмазов Сибирской платформы можно наметить следующие рудоконтролирующие гравитационные аномалии различного иерархического уровня (от региональных к локальным) (Духовский А. А., 1984, 1986)

1) Анабарский региональный гравитационный максимум,

2) Вилюйская ветвь этого максимума с относительно пониженными уровнями поля Δg ,

3) линейные зоны потери корреляции северо-западных гравитационных аномалий и наличия аномалий северо-восточного простирания,

4) локальные изометричные в плане гравитационные минимумы. Первая из названных аномалий соответствует Якутской алмазо-

носной провинции, вторая — Вилюйской области продуктивного кимберлитового магматизма, третья — северо-восточным кимберлитоконтролирующим зонам, четвертая — известным продуктивным кимберлитовым полям.

Геофизические данные позволяют также наметить тесные корреляционные связи между масштабами проявления оруденения, особенностями строения и состава верхних частей земной коры и рудоносных геологических образований. Например, существенно меньшие масштабы (суммарные запасы) грейзеновых редкометалльных месторождений Восточного Забайкалья по сравнению с месторождениями Центрального Казахстана коррелируются со следующими факторами (Духовский А. А., 1980)

1) в Восточном Забайкалье отсутствует глубинная рудоконтролирующая структура земной коры первого порядка, фиксируемая по гравиметрическим данным,

2) металлогенические зоны Восточного Забайкалья имеют меньшие площадные размеры,

3) блоки фундамента металлогенических зон Восточного Забайкалья по сравнению с Центральным Казахстаном характеризуются более основным составом и меньшими вертикальными размерами,

4) массивы рудоносных гранитов Восточного Забайкалья, в отличие от массивов Центрального Казахстана, имеют однородное внутреннее строение, более основной состав и более высокую плотность,

5) объем внедрившихся масс забайкальских гранитов в несколько раз меньше, чем казахстанских.

4. Количественное прогнозирование на основании изучения глубинного строения прогнозируемых объектов (объемное прогнозирование) относится к новому и еще слабо разработанному виду прогнозно-металлогенических исследований. Тем не менее выполненные, хотя и немногочисленные, исследования по объемному прогнозированию свидетельствуют о больших возможностях этого вида работ при прогнозной оценке нескрытых месторождений полезных ископаемых.

Рекомендуется следующая схема объемного прогнозирования

1) составление объемной модели прогнозируемого объекта,

2) изучение закономерностей размещения месторождений и их запасов по отношению к особенностям формы и состава объемной модели,

3) оценка прогнозных ресурсов для модели в целом и для различных уровней глубинности.

Например, для редкометалльных рудных районов, в которых месторождения Sn , W , Mo , $Sn-W$, $W-Mo$ ассоциируют с крупными (до 1000-1500 км²) массивами гранитов, установлены три основные модели: а) рудоносный гранитный массив имеет лакколитообразную форму с плоской кровлей, в его объеме преобладают граниты ранних фаз внедрения, б) рудоносный гранитный массив имеет гарполитообразную форму с выпуклой кров-

лей, осложненной многочисленными мелкими куполами; в объеме массива широко распространены породы поздних фаз, образующие крупные тела и слагающие его корневую систему; в) материнский гранитный массив имеет лакколитообразную форму, однородное внутреннее строение и сопровождается более поздними малыми рудоносными интрузиями гранитоидного состава, которые приурочены к его боковым экзоконтактовым частям и над-интрузивной зоне.

Для первой модели характерна убогая редкометалльная минерализация и промышленные содержания пьезооптического сырья в камерных пегматитах, для второй — промышленные месторождения и Sn—W и Mo—W групп грейзенового, скарнового и гюбнерит-сульфидного формационных типов, для третьей — промышленные касситерит-силикатно-сульфидные месторождения и убогая грейзеновая редкометалльная минерализация. Масштабы проявления редкометалльной минерализации определяются соотношением объемов гранитов ранних и поздних фаз внедрения. Наиболее продуктивны те рудоносные массивы, в объеме которых преобладают рудогенерирующие граниты поздних фаз внедрения.

Технологическую схему использования результатов геофизических исследований для оценки прогнозных ресурсов категории P_3 рассмотрим на примере молибденовых месторождений Восточного Забайкалья.

Молибденовое оруденение Восточного Забайкалья, генетически связанное с диорит-гранодиоритовой магматической формацией, локализуется в пределах золото-молибденового пояса, выделенного еще С. С. Смирновым в 1944 г. Для прогнозной оценки территории этого пояса было выполнено районирование аномального гравитационного поля и проанализированы связи между аномалиями силы тяжести разных порядков, особенностями размещения и запасами известных молибденовых месторождений и интрузивов диорит-гранодиоритовой формации (Духовский, 1982). Анализ размещения молибденового оруденения по отношению к гравитационным аномалиям разных порядков (планетарным, региональным и локальным) позволил установить следующие закономерности.

1. Из десяти известных месторождений молибдена восемь расположено в пределах Забайкальско-Становой планетарной области гравитационного поля, характеризующейся резко отрицательными значениями Δg и линейными региональными аномалиями северо-восточного направления. Одна из наиболее интересных планетарных структур гравитационного поля — Монголо-Охотская гравитационная ступень, к которой пространственно приурочено 40 % значительных месторождений молибдена.

2. По отношению к региональным гравитационным аномалиям установлена тесная пространственная связь молибденового, а также оловянно-вольфрамового и редкометалльного оруденения с отрицательными аномалиями второго порядка. К региональным отрицательным аномалиям силы тяжести второго порядка приуро-

чено большинство молибденоносных интрузивов диорит-гранодиоритовой формации, все значительные месторождения и рудопроявления молибдена, подавляющая часть массивов гранитов гранит-лейкогранитовой формации и связанное с ними оловянно-вольфрамовое и редкометалльное оруденение. Поэтому можно считать, что системы региональных отрицательных аномалий силы тяжести второго порядка фиксируют металлогенические зоны Восточного Забайкалья. Их естественными границами являются гравитационные ступени разных порядков, интерпретируемые как краевые глубинные разломы земной коры. Всего по такому принципу выделены три металлогенические зоны с молибденовым оруденением (Верхнеолекминская, Амазарская и Верхнегазимульская), которые пространственно обособлены от оловянно-вольфрамовых зон.

3. По отношению к локальным аномалиям силы тяжести установлено, что все известные месторождения и значительная часть рудопроявлений молибдена концентрируются в пределах локальных гравитационных минимумов, имеющих в плане изометричную или слегка вытянутую форму. В контуры таких минимумов попадают также многие массивы гранитоидов диорит-гранодиоритовой формации, реликты вулканических полей и субвулканические образования позднеюрского возраста. Всего в рассматриваемом регионе выделено 25 таких минимумов. Молибденовое оруденение региона, представляющее практический интерес, сосредоточено в пяти рудных районах, контуры которых полностью совпадают с контурами одноименных гравитационных минимумов. В других 20 минимумов известны только мелкие месторождения и рудопроявления молибдена.

Для определения возможной практической значимости этих 20 минимумов проведен их анализ по признакам, характерным для заведомо рудоносных аномалий. В результате установлено, что границами известных и предполагаемых молибденовых районов Восточного Забайкалья служат контуры локальных гравитационных минимумов, расположенных в пределах металлогенических зон с молибденовой минерализацией, имеющих в плане примерно изометричную форму и размеры от 500 до 2000 км² и характеризующихся преимущественно отрицательными или слабо положительными магнитными полями. Рудные районы, выделенные по таким признакам, локализируются в Верхнеолекминской (пять районов), Амазарской (четыре района) и Верхнегазимульской (один район) металлогенических зонах с молибденовой минерализацией. Из 10 выделенных рудных районов в пяти уже установлено молибденовое оруденение, представляющее практический интерес. В остальных пяти районах следует проводить дальнейшие поисковые работы на молибден.

Прогнозные ресурсы Верхнегазимульской металлогенической зоны ограничиваются разведанными и прогнозными запасами месторождений рудного района (Шахтама, Бугдая и др.). Более перспективными представляются Верхнеолекминская и Амазарская зоны. Их ширина составляет 70—80 км, длина — более 200—250 км,

простираение соответствует направлениям планетарных гравитационных ступеней, металлогеническое значение которых рассмотрено выше. Прогнозные ресурсы категории P_3 этих зон могут быть оценены по формуле

$$Q_x = \gamma \frac{Q_0}{N_0} N_x,$$

где Q_x — прогнозные ресурсы оцениваемых зон; Q_0 — полные запасы месторождений эталонных рудных районов; N_0 — число эталонных рудных районов ($N_0=4$); γ — коэффициент, учитывающий прирост прогнозных ресурсов (Q_0) эталонных рудных районов ($\gamma > 1$); N_x — число новых перспективных рудных районов ($N_x=5$).

3.4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГО-СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ МАСШТАБА 1:50 000 С ОБЩИМИ ПОИСКАМИ

При геолого-съемочных работах масштаба 1:50 000 с общими поисками объектами оценки являются рудные поля различного типа, перспективные участки, выраженные в геохимических и геофизических аномалиях, и рудопоявления. Применение методов аналогии при оценке ресурсов рудных полей часто проводится на формально-статистической основе путем обработки исходных данных математическими методами на ЭВМ при снятии информации по равновеликой сети. Для указанных целей создаются различные информационно-прогнозирующие системы, автоматизирующие процесс сбора, вывода и обработки данных. Их применение эффективно при наличии мощной и хорошо организованной информационной базы и при ее формировании и постоянном пополнении. Математические методы наиболее инвариантны по отношению к геологическим типам оцениваемых объектов.

Возможности применения других методов оценки предопределяются: 1) видом геоморфологической и структурной обстановки, в которой находится объект оценки, и видом проведенных на нем работ; 2) типом самого объекта (благоприятный литологический горизонт, интрузивный массив, палеовулкан, складчаторазрывная структура и т. п.); 3) степенью его изученности; 4) рангом объекта (рудное поле, рудопоявление).

В первом случае может быть рассмотрена возможность применения локальных геохимических и геофизических методов расчета прогнозных ресурсов; во втором — геофизических, расчетов по параметрам среды и математических (геолого-статистических) методов; в третьем — дополнительно еще и экономических методов; в четвертом — методов, учитывающих особенности распределения содержаний полезных компонентов, ранговых рядов рудных тел.

112

3.4.1. Метод аналогии

При оценке прогнозных ресурсов рудных полей иногда возможно применение помимо формулы (9) также формул прямого расчета по измеренным и предполагаемым по аналогии параметрам:

$$Q = KCdms \text{ или } Q = KC \cdot d \cdot h \cdot S, \quad (22)$$

где S — площадь выхода благоприятных пород, m — их мощность, h — глубина оценки, C — содержание полезного компонента, d — плотность пород (руд).

Параметры в формулах (9) и (22) сопоставляются следующим образом $m \cdot S = V$, $C \cdot d = q$. Таким образом, параметры оцениваемого объекта: снимаются с карты (например, площадь выхода благоприятных пород); предполагаются по аналогии с известным объектом (удельная рудоносность, средние содержания полезных компонентов); устанавливаются из экономических соображений (глубина расчета).

При оценке перспектив угле-, соле- и асбестоносности в качестве параметров удельной рудоносности может быть взято количество отдельных пластов, приходящихся на единицу площадного выхода рудоносных геологических формаций или вообще площади, ограниченной как однородная геологическая позиция. В этом случае формулы для расчета могут быть детализированы, например:

$$Q = N \cdot S \cdot H \cdot c \cdot d,$$

где N — число пластов (рудоносных горизонтов), S — площадь, H — средняя мощность рудоносных горизонтов, c — концентрация оруденения, d — средняя плотность пород.

Ниже приводятся примеры оценки прогнозных ресурсов рудных полей в некоторых геологических обстановках.

Оценка прогнозных ресурсов рудных полей в области развития гипербазитов

Гипербазиты входят в состав многих формаций (дунит-перидотитовая, дунит-клинопироксенит-габбровая, перидотит-пироксенит-норитовая, габбро-верлитовая и др.) Однако формация, представленная только гипербазитами, притом содержащая широкий спектр полезных ископаемых, среди них одна — это дунит-перидотитовая или «альпинотипные гипербазиты» (по терминологии зарубежных и некоторых советских геологов).

С дунит-перидотитовой формацией связаны разнообразные полезные ископаемые: хром, большинство минеральных видов асбеста, тальк, магнетит, нефрит, жадеит, изумруд, рубин, хризолит, а также кобальт и никель. Главными из них являются хром и хризотил-асбест, а среди ювелирно-поделочных камней особенно широко распространены нефрит. Поскольку материнскими породами для хромитовой минерализации являются дуниты, в литературе обычно дунит-перидотитовую формацию называют хромитоносной,

8—Зак 75 д.д.

113

а связанные с ней месторождения хрома выделяются в самостоятельный формационный тип. Для целей прогнозирования предполагается (Луцкина Н. В., 1983) все многообразие этих месторождений расчленить по приуроченности к субформациям на четыре формационных подтипа, что позволяет учесть особенности состава, строения и масштабность оруденения различной промышленной ценности. Название формационным подтипам даны по наиболее известным месторождениям Урала.

Два из них, **кемпирсайский** и **верблюжьегорский** подтипы оруденения, ассоциируют с первичными субформациями: дунит-гарцбургитовой и собственно гарцбургитовой. Оруденение представлено преимущественно густо вкрапленными и сплошными рудами. Месторождения кемпирсайского типа достигают очень крупных и уникальных размеров и содержат главные запасы высокосортных металлургических руд нашей страны. Месторождения верблюжьегорского типа характеризуются малыми запасами руд и в настоящее время являются нерентабельными. Однако при существующем дефиците огнеупорных руд представляется целесообразным в перспективе вовлечение в эксплуатацию месторождений верблюжьегорского типа, непосредственно примыкающих к месторождениям вкрапленных руд Алапаевского, Восточно-Тагильского и других массивов Урала.

Два других формационных подтипа связаны с вторичными субформациями гипербазитов: **ключевской** — на контакте с интрузиями габбро в связи с клинопироксенит-верлит-дунитовой субформацией и **курмановский** — в связи с субформацией дунит-оливинизированных гарцбургитов. Руды месторождений этих типов вкрапленные, с резким преобладанием редко- и убоговкрапленных разновидностей. Сейчас они рассматриваются как источник для расширения хромитовой базы на ближайшую и отдаленную перспективы.

В пределах массивов оруденение всех формационных подтипов локализуется в дунитах. Последние четко различаются между собой по составу (железистости оливинов) и набору элементов-примесей (Луцкина Н. В., 1986).

Рудные тела, в свою очередь, приурочиваются к разломам. Первичные руды (кемпирсайский и верблюжьегорский подтипы), как правило, контролируются разломами, согласными с вытянутостью гипербазитовых тел и направлением региональных структур, вторичные (скопления вкрапленных руд) — разрывными нарушениями второго и третьего порядков по отношению к региональным структурам, в том числе нарушениями, возникающими в зоне контакта габброидных тел (ключевской подтип оруденения). Обычно месторождение сложено несколькими рудными залежами. Однако известны случаи (юго-восточная часть Кемпирсайского массива и др.), когда на относительно небольшой площади размещается ряд сближенных, местами соединяющихся на глубине, месторождений хромовых руд (рудное поле).

Рудоносные породы формационного подтипа характеризуются

строгим определенным сочетанием гравитационных и отрицательных магнитных аномалий, что позволяет выявить распространение их на глубине — под чехлом более молодых отложений или на глубоких горизонтах в мощных гипербазитовых массивах. Для всех подтипов оруденения отрицательными критериями являются: интенсивные метаморфические преобразования (лиственнитизация, хлоритизация и др.), интенсивная пострудная тектоника.

Подсчет прогнозных ресурсов обычно производится по методу аналогии по формуле типа

$$Q = k \cdot q \cdot S_{06} \cdot h$$

или путем прямого расчета по измененным или, чаще, уверенно предполагаемым параметрам по формуле типа

$$Q = k \cdot c \cdot d \cdot a \cdot S \cdot h,$$

где Q — прогнозный ресурс Cr_2O_3 , т; S_{06} — общая картируемая или предполагаемая площадь выхода дунитов на поверхность или под чехлом мезо-кайнозойских отложений, m^2 ; a — коэффициент рудоносности, равный S_p/S_{06} , где S_p — площадь рудных тел, m^2 ; h — принятая глубина прогнозирования, м (из расчета открытой отработки ожидаемого месторождения — 300-500 м); q — удельная рудоносность эталонной территории, t/m^3 ; $q = Q_0/S_0 \cdot h_0$, где Q_0 — запасы Cr_2O_3 эталонного объекта, т; S_0 — площадь выхода на поверхность эталонного объекта, m^2 ; h_0 — глубина подсчета запасов на эталонном объекте, м; c — содержание Cr_2O_3 в руде, % (для кемпирсайского подтипа предполагается равным 45%, для вкрапленных руд — 10%, или уточняется по данным количественных анализов выходов руды или ее обломков в делювии на оцениваемом массиве); d — объемный вес руд: для сплошных руд принимается равным 3,9—3,5 t/m^3 , для вкрапленных — 3,0 t/m^3 , k — поправочный коэффициент на степень аналогии эталонных и оцениваемых объектов.

Произведенные расчеты показали, что для кемпирсайского подтипа оруденения (эталон — рудное поле Южно-Кемпирсайских месторождений) $q = 3,7$ млн t/km^3 , для ключевской подтипа (эталон — рудное поле Ключевского месторождения) $q = 0,8$ млн t/km^3 , для курмановского (эталон — рудное поле Курмановского месторождения в Алапаевском гипербазитовом массиве) — $q = 0,53$ млн t/km^3 .

Отметим, что согласно геолого-экономическим расчетам (В. П. Пахомов и др., 1981) хромовые руды, с содержанием Cr_2O_3 около 50% и расположенные близко к поверхности в экономически освоенном районе, выгодно обрабатывать даже при небольших запасах (5-10 млн т), тогда как месторождения вкрапленных руд являются рентабельными на ближайшее время лишь с запасами не менее 50-100 млн т.

Оценка прогнозных ресурсов рудных полей в областях развития гранитоидов

С гранитоидным магматизмом, как известно, ассоциирует весьма широкий круг эндогенных полезных ископаемых — от редкометалльных до цветных и благородных металлов. Однако преобладающим распространением среди них пользуются разнообразные редкометалльные (*Sn, W, Mo, Be, Li, Bi, Nb, Ta* и др.) месторождения, обнаруживающие наиболее отчетливо выраженную не только пространственную, но и генетическую связь с гранитами. Наиболее приемлемым вариантом модели редкометалльных рудных полей является интрузивное тело гранитоидов, отвечающее элементарной «очаговой» магмоконтролирующей структуре в понимании И. Н. Томсона и М. А. Фаворской. Такие интрузивные тела (или магматические очаги) являются, как правило, полихронными, длительно формирующимися (обычно 30-50 млн лет) и определяют главные закономерности размещения ассоциирующей с ними редкометалльной минерализации. Границей рудного поля в рамках предлагаемой модели служит контур локального гравитационного минимума, проводящийся по нулевым изолиниям минимумов относительно общего гравитационного поля. Такой контур фиксирует рудогенерирующее интрузивное тело (или тела) и позволяет очертить районы распространения всей рудной минерализации, связанной с массивами гранитоидов рудоносного интрузивного комплекса. Число потенциально рудоносных полей, выделяемых на основе указанной модели, оказывается не столь большим, как это может показаться на первый взгляд. Так, в пределах Центрально-Казахстанской редкометалльной провинции намечено 37 магматических ареалов, соответствующих по размерам рудному полю [16]. Из них промышленно важная рудоносность установлена в 18 ареалах.

По особенностям связи с магматизмом, преобладающему типу минерализации и другим признакам редкометалльные рудные поля, например, могут быть подразделены на две контрастные группы: олово-вольфрамовую и молибден-вольфрамовую (Рундквист Д. В., Денисенко В. К., 1970). Для месторождений олово-вольфрамовых рудных полей характерен набор элементов, кларки которых максимальны в осадочных и интрузивных породах алюмосиликатного состава. При этом устанавливается наиболее тесная геохимическая связь *Sn* с *W, Be, Nb, Ta, Li, Cu, Pb, Zn*. Месторождениям молибдено-вольфрамовых рудных полей свойственны элементы с максимальными кларками в породах повышенной основности. Здесь характерна тесная геохимическая связь *W* с *Mo, Be, Bi, Au, Si*.

Геолого-петрографические исследования [16] позволяют установить три основные объемные модели строения редкометалльных рудных полей (рис. 5).

1. В объеме интрузивного массива резко преобладают граниты ранних фаз внедрения. Преимущественным развитием в данном случае пользуются месторождения пьезооптического сырья и непромыш-

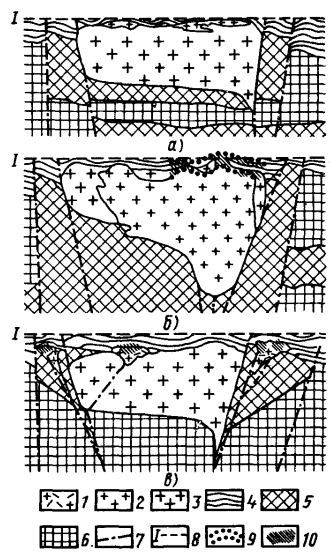


Рис. 5 Основные модели рудных полей (Составители А. А. Духовский, В. К. Денисенко)

1 — гинабазальные малые интрузии гранитоидного состава позднего редкометалльного магматического комплекса, 2, 3 — граниты раннего редкометалльного интрузивного комплекса алякитовые и лейкократовые поздних фаз внедрения (2) и лейкократовые и биотитовые ранних фаз внедрения (3), 4 — фанерозойские стратифицированные образования, 5, 6 — блоки докембрийского метаморфического фундамента (преимущественно салического (5), фемического и фемическо-салического (6) составов), 7 — крупные тектонические нарушения, 8 — уровни эрозийного среза, 9 — перспективные части рудоносного массива и его надинтрузивной зоны, 10 — участки перспективные для локализации редкометалльного оруденения

к массивам, основная часть объема которых занята гранитами поздних фаз, что еще раз подтверждает представления о рудогенерирующей роли поздних фаз внедрения.

Как известно, в пределах рудных полей месторождений и рудопроявления распределены крайне неравномерно. Проведенный анализ показал, что подавляющее большинство месторождений, в том числе все крупные, связаны с теми частями полей, где рудоносные массивы имеют максимально развитую корневую систему и одновременно сложены преимущественно гранитами поздних

ленные редкометалльные рудопроявления грейзенового типа (см. рис. 5, а).

2. В объеме плутона широким распространением пользуются граниты поздних фаз внедрения, образующие крупные тела и слагающие корневую систему массива. Для подобных интрузивных тел характерны промышленные редкометалльные месторождения различных формационных типов *Sn—W* и *Mo—W* групп (см. рис. 5, б).

3. В объеме гранитоидного массива преобладают граниты поздних фаз. В данной геологической ситуации получают развитие промышленные касситерит-силикатно-сульфидные месторождения и бедные редкометалльные рудопроявления грейзенового и пегматитового формационных типов (см. рис. 5, в).

Следует подчеркнуть, что не только потенциальная рудоносность, но и масштаб проявления редкометалльной минерализации в гранитных массивах прямо зависит от особенностей их внутреннего строения. С интрузиями, большая часть объема которых представлена гранитами ранних фаз, связаны мелкие редкометалльные месторождения. Наоборот, наиболее крупные *Sn—W* и *Mo—W* месторождения различных формационных типов приурочены

фаз. Эта закономерность позволяет выделять в рудных полях перспективные площади, где могут быть обнаружены редкометалльные объекты.

В пределах перспективных площадей штокверковые и жильные месторождения надинтрузивных зон обычно размещены над слепыми куполами гранитов поздних фаз, а также приурочены к уступообразным изменениям рельефа кровли и к крупным боковым граням самих интрузивов. Внутри гранитных массивов редкометалльное оруденение обычно расположено в их апикальных зонах мощностью до 200—400 м. Кроме того, не исключена возможность обнаружения месторождений в центральных частях массивов при наличии в них слепых тел «внутренних» гранитов поздних фаз.

Касситерит-силикатно-сульфидные месторождения обычно приурочены к площадям пространственного совмещения гранитоидного магматизма двух самостоятельных интрузивных комплексов: раннего, представленного крупными гранитными массивами, и позднего, образованного гипабиссальными малыми интрузиями гранитоидов и дайками пестрого состава (см. рис. 5, в). С первым комплексом, как правило, ассоциирует убогая грейзеновая минерализация, со вторым — промышленное оруденение касситерит-силикатно-сульфидной формации. В рудных полях, характеризующихся небольшой глубиной залегания кровли ранних гранитных массивов (до 500—1000 м), на поверхности современного эрозионного среза может быть проявлена как грейзеновая, так и касситерит-силикатно-сульфидная минерализация. При большой глубине залегания кровли наблюдается только касситерит-силикатно-сульфидное оруденение.

Предложенная модель строения редкометалльных полей дает возможность использовать при их прогнозной оценке коэффициенты удельной рудоносности, отражающие количество запасов руды, приходящихся на единицу площади локальных гравитационных минимумов, соответствующих слепым или частично вскрытым массивам рудоносных гранитоидов. При этом следует учитывать, что значение таких коэффициентов определяется шириной распространения в пределах гравитационных минимумов гранитных массивов, то есть причинно связано с глубиной их залегания и степенью эродированности и не зависит от площади минимумов. В частности, как показывает опыт расчета удельной рудоносности (WO_3 тыс. т/км²) для основных вольфраморудных полей Центрально-Казахстанской редкометалльной провинции она составляет: 1—1,6 для минимумов, соответствующих слепым массивам рудоносных гранитов, 0,2—0,4 для минимумов, отвечающих частично вскрытым гранитным плутонам; и не превышает 0,1 на площадях развития практически полностью вскрытых массивов. В случаях изученности особенностей внутреннего строения гранитных массивов на глубину прогнозную оценку редкометалльных рудных полей (по формулам типа (1) необходимо производить раздельно для каждого из трех предложенных объемных моделей их строения,

поскольку они различаются по формационной принадлежности, промышленной значимости и широте распространения проявленных в данной геологической ситуации месторождений и рудопроявлений.

Оценка прогнозных ресурсов в областях развития щелочных комплексов

В качестве конкретного примера рассмотрим методический подход к оценке прогнозных ресурсов высококалийного алюмосиликатного сырья сыныритового (кальсилит-калишпатового) состава. Прогнозируемым объектом в данном случае является рудное поле, составляющее некоторую часть щелочного массива, выделенного по наличию рудовмещающей ассоциации или парагенерации пород с учетом структурных, минералого-петрологических, петрохимических и геохимических признаков.

В процессе ведения крупномасштабной съемки и поисков уточняются главные положительные критерии, установленные работами предшествующего масштаба. Кроме того, более детальная съемка привлекает новые критерии, имеющие решающее значение для локального количественного прогноза. Среди них ведущее значение имеет группа прямых петрохимических, минералогических и геохимических признаков, в частности: наличие псевдолейцитовых фельдшпатидных пород с содержанием более 16 % K_2O при низком (менее 1,5-2,0 %) значении оксида натрия и незначительном (до 1,0-1,5 %) количестве оксида кальция; присутствие в породах свободного кальсилита; а также установление аномально высокого (более 700-800 г/т) содержания рубидия и, наконец, обнаружение собственно сыныритов.

Помимо положительных факторов необходимо оценивать масштабы устойчиво действующих отрицательных факторов, влияющих на надежность и достоверность локального прогноза. К ним относятся макро-, микрослоистость, скрытая неоднородность, зональность, влияющие на изменение концентрации полезных и вредных компонентов как в рудных залежах, так и в нерудных интервалах. Учесть эти факторы без детальных полевых наблюдений и аналитических исследований не представляется возможным. Огромное влияние оказывают также вторичные процессы изменения первичных пород и руд, приводящие к существенному преобразованию качества минерального сырья. Обычно это сопряжено с выносом калия (до 4—5 %) за счет разложения и замещения кальсилита. Данный вид геологической съемки по своей детальности обеспечивает распознавание локальных объектов и позволяет применить метод прямого расчета прогнозных ресурсов по категории P_2 по формуле

$$Q_x = l \cdot h \cdot m \cdot c \cdot d,$$

где Q_x — прогнозный ресурс сыныритов, т; l — прогнозная длина объекта по простиранию, м; h — прогнозная протяженность объекта

по падению (глубина прогноза), m ; t — прогнозная мощность объекта, m ; c — средние концентрации сыниритов (коэффициент рудоносности); d — средняя плотность сыниритов и ассоциирующихся с ними пород, входящих в контур прогноза, $2,6 \text{ т/км}^3$.

Линейные параметры устанавливаются по данным прослеживания рудных тел по послойным разрезам, отстоящим друг от друга на 500—1000 м, и интерполяции между ними. Содержания компонентов, подтверждающие продуктивные интервалы, определяются по опробованию главных разновидностей пород и руд. Коэффициент рудоносности рассчитывается для каждого конкретного случая отдельно и равен отношению мощности рудных (сыниритовых) интервалов к общей мощности рудоносной толщи по разрезам. В зависимости от степени однородности и выдержанности оруднения в различных объектах он меняется от 0,6 до 0,9. Следует учитывать, что по предварительным геолого-экономическим данным допускаемая мощность нерудных интервалов в оконтуренных залежах и моноблоках не должна превышать 10 м, а рудные тела мощностью менее 30 м вряд ли могут иметь самостоятельное значение.

Оценка прогнозных ресурсов кор выветривания

При прогнозной оценке кор выветривания необходимо учитывать, что каждый вид полезного ископаемого в зоне гипергенеза, как правило, характеризуется специфическими, только ему присущими конкретными закономерностями локализации, что обуславливает необходимость индивидуального подхода к оценке перспектив территорий на поиски того или иного рудного компонента. Для большинства полезных ископаемых гипергенные процессы благоприятно сказываются на возрастании качества и количества руды (золото, алмазы, железо, марганец, хром, ванадий и др.), но для отдельных видов сырья процессы выветривания и окисления приводят к деградации месторождений.

Общим для всех месторождений кор выветривания является возникновение их на строго определенных стратиграфических уровнях и постоянная парагенетическая связь с комплексом своеобразных, легко определяемых при полевых геолого-съемочных работах, гипергенных пород, слагающих формации кор выветривания (Михайлов Б. М., 1986). Это обстоятельство значительно облегчает прогнозирование месторождений и позволяет уверенно проводить оценку прогнозных ресурсов территорий на ряд полезных ископаемых по категории P_2 на основе кондиционных карт масштаба 1:50 000. Первоочередной задачей работ по оценке прогнозных ресурсов категории P_2 является оконтуривание потенциального рудного поля в пределах известных рудоносных зон. Эта одна из наиболее сложных операций решается путем установления на исследуемой территории эпох коробразования, анализа геологического строения, палеогеографических и палео-

геоморфологических обстановок, господствовавших в районе в период формирования элювиального покрова.

Контурные рудных полей элювиальных полезных ископаемых, как правило, не выходят за границы распространения кор выветривания на благоприятном субстрате. Форма рудных полей часто не совпадает с формой первичных концентраций рудных компонентов, а определяется их перераспределением под воздействием гипергенных факторов либо более поздним размывом рудоносного элювия.

Основываясь на сформулированных выше положениях, приведем методический пример количественной прогнозной оценки территорий на наиболее продуктивные и часто встречающиеся никелевые и железорудные месторождения формации кор выветривания.

Как известно, нет ни одного более или менее крупного промышленного месторождения никеля, непосредственно не связанного с ультрабазитами. Единственным до сих пор не объяснимым исключением являются только океанические железо-марганцевые конкреции, содержащие в ряде случаев 1—1,5 % Ni [10].

Коры выветривания на ультрабазитах, приуроченные к возвышенным участкам рельефа, как правило, венчаются зоной охристых бурых железняков. Как охры, так и бурые железняки могут являться железной рудой, природно легированной никелем, кобальтом и ванадием, но в то же время всегда содержащей вредную примесь хрома.

Бурые железняки в ряде случаев образуют осадочные шлейфы вокруг ультраосновных массивов (например, месторождения вокруг Халиловского массива на Южном Урале, вокруг Кольского массива на Северном Урале и др.), либо выполняют карстовые депрессии в известняках (аккермановские месторождения на Южном Урале и др.). Эти известняки в областях латеритообразования часто содержат значительные количества глинозема и могут являться комплексной алюможелезной рудой (например, Новокиевское месторождение на Южном Урале).

Железные руды на ультрабазитах обычно образуют хорошо выдержанный пласт мощностью 5—10 м. Если есть основание предполагать, что ультраосновной массив выходил на возвышенную поверхность в эпоху интенсивного коробразования и в дальнейшем не подвергался размыву, то количественное прогнозирование железных руд весьма надежно.

В Зауралье, как и в пределах Уральского хребта, ультраосновные массивы объединяются в «гипербазитовые пояса», входящие в состав складчатого фундамента. В связи с этим для количественной прогнозной оценки гипергенных месторождений, связанных с ультрабазитами, необходима геологическая карта со «снятым» платформенным чехлом (карта фундамента).

Массивы, перспективные для поисков гипергенных руд никеля и железа, должны иметь размеры не менее $0,5 \text{ км}^2$, то есть вполне могут быть изображены в масштабе 1:200 000—1:50 000. В соответствии с перечисленными критериями на карту наносятся следующие данные (рис. 6):

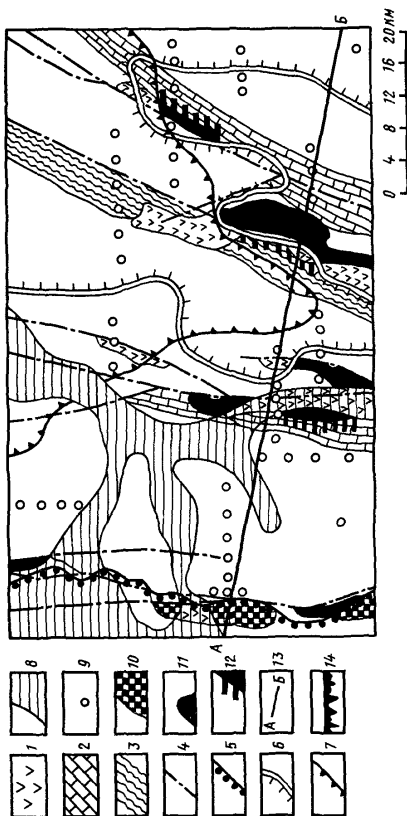


Рис. 6. Макет карты количественного прогноза на гипергенные месторождения никеля (применительно к Зауралью)

1 — серпентинизированные дуниты, 2 — карбонатные породы, 3 — ультраосновные породы, 4 — ультраосновные породы с развитыми сульфидными охристыми (Fe, Ni, Co) корами выветривания, 5 — шлошистая рудная корка выветривания, 6 — шлошистая рудная корка выветривания морской абразионной коры выветривания, 7 — шлошистая рудная корка выветривания морской абразионной коры выветривания с никелевыми концентрированными месторождениями (для масштаба (см. разрез)), 8 — площади, зрелые в отношении морского выветривания, 9 — площади, зрелые в отношении морского выветривания коры выветривания, 10 — площади вероятного развития гипергенных руд никеля, перерогаткованные, 11 — площади вероятного развития гипергенных руд никеля, перерогаткованные, 12 — площади вероятного развития гипергенных руд никеля, перерогаткованные, 13 — линии разреза, 14 — сокращенные уровни распространения меловой коры выветривания (см. разрез).

а) все ультраосновные массивы дунит-перидотитовой формации с указанием степени их серпентинизации, дислоцированности (раздробленности) и приуроченности к рудоконтролирующим разломам;

б) прогнозные элементы фациальных обстановок, необходимые для подсчета ресурсов, палеорельеф эпохи корообразования, зоны аккумуляции осадков и продуктов переотложения кор выветривания;

в) особо выделяются площади распространения кор выветривания и их фациальные особенности, благоприятные для строго определенных типов месторождений, а также районы позднейшей эрозии и морской абразионной эрозии.

Приведенные данные являются основанием для оконтуривания площадей при подсчете прогнозных ресурсов. Для подсчета используется формула типа

$$Q = \frac{K \cdot S \cdot m \cdot C \cdot d \cdot a}{100}$$

где Q — общие прогнозные ресурсы никеля (или железной руды), т.; S — суммарная площадь перспективных участков ультраосновных массивов, m^2 ; m — средняя мощность рудных тел, м; a — коэффициент рудоносности — отношение суммарной площади рудных тел к площади перспективных участков; C — содержание никеля в руде, %; d — средняя плотность руды, t/m^3 ; K — эмпирический коэффициент достоверности.

Проведем последовательно все операции по подсчету ресурсов никеля для составленного нами макета одного из районов Зауралья (см. рис. 5).

Суммарная площадь (S) всех выделенных на карте перспективных участков в пределах ультраосновных массивов составляет примерно 90 000 000 m^2 .

Коэффициент рудоносности (a) известных рудоносных массивов в Зауралье колеблется в значительных пределах. Обычно от 1 до 30 % массива покрыто рудоносной корой выветривания (коэффициент рудоносности 0,01—0,8). Учитывая вероятный размыв рудоносного элювия на западных массивах, а также весьма проблематичную рудоносность южного массива, расположенного на низкой равнине среди метаморфических сланцев нижнего протерозоя [10], целесообразно принять для подсчета коэффициент рудоносности, равный 0,1.

Средняя мощность рудных тел (m) по аналогии с известными месторождениями Южного Урала принимается равной 3 м; содержание никеля в руде — 1 %, объемный вес — 1,5 t/m^3 , коэффициент достоверности — 0,3. Столь низкая степень достоверности количественной оценки региона обусловлена недостатком сведений о рельефе поверхности большинства ультраосновных массивов, интенсивности их последующего размыва, о характере дислоцированности пород и мощности развитой на них коры выветривания. Кроме того, показанные на карте контакты ультраосновных пород с извест-

ниями в керне скважины не наблюдались, а получены интерпретацией геофизических материалов, поэтому характер контактов неизвестен. Подставив в формулу охарактеризованные цифры, мы получаем величину прогнозных ресурсов металла, равную 121,5 тыс т.

Таким образом, на подобной площади можно рекомендовать постановку поисковых работ, ожидая открытия промышленного месторождения элювиальных руд никеля с запасами порядка 100 тыс т. Фациальный анализ эпохи коррозирования для этого района дает основание ожидать обнаружение преимущественно нонtronитового типа руд [10]. На востоке возможно выявление нонtronитизированных серпентинитов, а на западе — охристых руд с содержанием железа до 30–40%. Здесь же прогнозируются и богатые кобальтом (до 0,15%) никелевые руды.

Кроме элювиальных месторождений на карте дан прогноз принципиально новых для района осадочных руд никеля — продуктов перетложения никеленосной коры выветривания в карстовые и сульфидно-карстовые депрессии. В связи с тем, что проведение прямых аналогий с известными здесь типами руд не представляется возможным, количественный прогноз этого типа руд дается в более общей форме, а именно предполагаемая площадь развития рудоносного карста (S) на рассматриваемой площади — 20 км². Количество металла на 1 км² площади развития рудоносного карста, исходя из весьма приближенной аналогии с приконтактовыми участками мелких массивов ультрабазитов Уфалейского и Режского районов Среднего Урала, может быть условно принято равным 10 тыс т. Учитывая проблематичность подобных аналогий, коэффициент достоверности с большой долей условности принимаем равным 0,1. В таком случае здесь можно ожидать обнаружение еще 20 тыс т металла в глинистых отложениях рудоносного карста Руды, опять таки по аналогии с известными районами, могут оказаться более богатыми, с содержаниями до 2–3% никеля. Таким образом, общая сумма прогнозных ресурсов никеля на рассматриваемой площади может быть оценена примерно в 150 тыс т.

Учитывая благоприятное экономическое положение района, а также горнотехнические условия разработки прогнозируемых месторождений, можно уверенно рекомендовать подобный район для постановки поисковых работ с целью укрепления сырьевой базы никелевой промышленности Урала.

3.4.2. Статистические методы

Статистические методы оценки прогнозных ресурсов применяются чаще при средне- и крупномасштабных исследованиях (1:200 000 и крупнее), поскольку в их основе лежит большое количество исходных данных, параметризованных или допускающих параметризацию, тогда как при мелкомасштабном прогнозировании

многие методы вообще основаны на учете одного параметра (например, кларка).

В рассматриваемых масштабах большое значение для прогноза рудоносности приобретает не только наличие того или иного рудоконтролирующего фактора, но и интенсивность его проявления. При этом связь между последней и величиной минеральных ресурсов не обязательно линейна. В этом масштабе нарушается структурно-формационная целостность структур, и формирование оруденения в том или ином блоке металлогенической зоны может определяться множеством локальных причин и их «случайным» сочетанием. Таким образом, связь между размерами рудоносности и вмещающей средой в рассматриваемых масштабах выражается более конкретно, но при этом становится менее детерминированной, что снижает роль металлогенического моделирования и повышает роль моделирования математического.

При прогнозировании в средних и крупных масштабах особенно остро встает вопрос о максимальном использовании обширной геолого-структурной, минералогической, геохимической, геоморфологической, аэрокосмической и другой информации. Выявление аналогии между эталонными и оцениваемыми территориями требует перебора большого количества признаков, а обособленная оценка степени подобия по ним становится трудно достижимой без применения вычислительной техники (Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976). К настоящему времени общепринята трактовка основной задачи прогнозирования как задачи разрабатки оптимальной стратегии принятия решения в условиях неопределенности [11].

Основные содержательные задачи, решаемые при оценке прогнозных ресурсов (после выделения перспективных площадей), следующие [11]:

1. Обоснованный выбор эталонных площадей.
2. Описание объектов оценки и эталонных объектов характеристик, по которым будет устанавливаться их сходство.
3. Классификация эталонных объектов по комплексу характеристик (разбиение на однородные группы).
4. Выделение характеристик и свойств, существенных для построения заключений по аналогии, установление их зависимости от масштабов рудоносности эталонных объектов.
5. Собственно оценка прогнозных ресурсов путем а) использования результатов решения третьей задачи и установления соответствия однородных групп эталонных объектов тем или иным группам объекта оценки (классификационные методы) или б) использования результатов решения четвертой задачи путем учета зависимости между характеристиками среды и рудоносностью эталонных объектов для вычисления ресурсов по известным характеристикам геологической среды оцениваемых объектов (регрессионные методы). Таким образом, используются в основном две группы математических моделей (методов): а) классификационные (распознавание образов), б) регрессионные.

В качестве наиболее методически проработанных литературных источников можно указать работу А. Н. Бугайца и Л. Н. Дуденко (1976), описывающую решение задач по выделению перспективных площадей, и работу [11], содержащую указания по подготовке и обработке данных на ЭВМ при количественном прогнозировании.

3.4.3. Классификационные методы

В терминах классификации, распознавания и диагностики формулируются важные задачи прогнозирования — выделение перспективных объектов и количественная оценка степени их перспективности. К настоящему времени хорошо разработаны многие классификационные методы [11] (Бугаец А. Н., Дуденко Л. Н., 1976; Родионов Д. А., Коган Р. И., Белов Ю. П., 1979 и др.).

Содержательная постановка задачи прогнозирования предполагает при этом задание выбора эталонов (классов объектов), достаточно полно характеризующих различие типов «рудных» и «безрудных» обстановок. Суть задачи заключается в принятии решения об отнесении объекта к тому или иному классу (эталону). Формальным эквивалентом данной продукции является задача распознавания и диагностики, которая ставится, в общем случае, следующим образом. Пусть X — множество признаков (пространство описаний), $Y = \{Y_i, i=1, m\}$ — множество объектов, разбитое на m классов по значениям прогнозируемого свойства. Требуется построить решающую функцию $D(X; Y_1, \dots, Y_m)$, которая при заданном пороге распознавания относил бы изучаемый объект к тому или иному классу. Решающая функция и порог в совокупности задают решающее правило (РП).

Данная схема первоначально разрабатывалась для качественной (а не количественной) оценки перспективности, однако, как выяснилось позже, она оказалась применимой и для количественного прогнозирования [1] в тех случаях, когда возможно разбиение объектов на классы по интервалам запасов.

Детерминированные алгоритмы распознавания, разработанные Ю. А. Ворониным, М. А. Губерманом, А. П. Куклиным, Ю. И. Журавлевым, А. Н. Дмитриевым, Ф. П. Кренделевым, Р. М. Константиновым и др., строят решающую функцию на основе комбинаторных методов получения диагностических комбинаций признаков (программы для ЭВМ «Кора», «Образ», «Голосование по тестам и тесторам» и др.) или на основе специальных «мер близости», введенных Ю. А. Ворониным («Голотип»). Порог принятия решения в этих схемах обычно выбирается на основе эвристических соображений, и поэтому принято называть РП этих методов «эвристическими».

При статистическом подходе, который наиболее полно реализован А. Н. Бугайцом и Л. Н. Дуденко (1976), строятся РП (стратегии), оптимальные относительно критериев минимизации потерь: байесовского (минимизируются соседние ожидаемые потери) и минимак-

сного (минимизируются максимальные потери). Преимущество статистических методов состоит в том, что они дают теоретическую оценку надежности решения. Однако применимость многих статистических алгоритмов ограничена предположениями о виде функций распределения $P_i(x)$.

Интересным и новым достижением является оценка решающих правил по нечеткой информации, при работе с элементами размытых множеств или классов объектов, для которых переход от принадлежности к классу к непринадлежности не скачкообразен, а непрерывен. Эти методы, предложенные рядом японских авторов (Асаи, Шимура, Тамура и др.), развиты и реализованы в автоматизированных системах прогнозирования А. Н. Бугайцом с соавторами [1, 11].

При недостаточности сведений об эталонах и благоприятных признаках оруденения ставится задача построения классификации на базе имеющихся сведений, и решение о перспективности принимается на основе принципа максимальной типичности и максимальной аномальности (Бешелев С. Д., Гуревич Ф. Г., 1980. с. 26; Родионов Д. А., Коган Р. И., Белов Ю. П., 1979, с. 8).

Формальное решение задачи обеспечивается методами автоматической классификации, основанными на разного вида «мерах сходства» между парами объектов (точек наблюдения) и критериями группирования: T_1 — критерий межгруппового сходства и T_2 — критерий внутригруппового сходства. Формальные методы разбивают множество Y в пространстве описаний X на классы, максимизируя T_1 при минимизации T_2 .

После подобного формального разбиения возможна только неформальная оценка перспективности объектов, максимально «похожих» на известные типы месторождений или максимально аномальных по сочетанию признаков (изолированные группы). В настоящее время существует много алгоритмов автоматической классификации, реализованных на ЭВМ в системах математического обеспечения: «Форель», «Голотип», «Спектр», «Таксон», «Регион», парагрупповой кластерный анализ, методы поиска границ в совокупности данных по критерию Д. А. Родионова и многие другие. Обзор критериев и формальных методов классификации при металлогенических исследованиях и их сравнительный анализ выполнен А. Н. Бугайцом и Л. Н. Дуденко (1976), Д. А. Родионовым, Р. И. Коганом, Ю. П. Беловым (1979), Г. Р. Бекжановым, А. Н. Бугайцом, В. Л. Лосем (1987). При классификации объектов, описанных большим числом характеристик, может быть предварительно проведен отбор наиболее информативных из них. Методами, позволяющими произвести эту операцию, являются, например, методы ортогональных разложений и многомерных отображений. Задача при этом состоит в том, чтобы некоторым оптимальным образом перейти от m -мерного пространства описания объектов к одно-, двух-, трех- и вообще p -мерным пространствам, где p существенно меньше m . Новые признаки Z_i , число которых будет значительно меньше исходных признаков X_i , представляют

собой линейные комбинации исходных описаний (X_1, \dots, X_n), в которых при каждом X_i — свой весовой коэффициент; Z_1 не коррелированы между собой. Расположенные в порядке убывания дисперсий первые признаки ряда (Z_1, Z_2) будут важнейшими («главные компоненты»). Тенденции в их пространственном поведении ложатся далее в основу районирования изучаемой площади.

Методика сбора, подготовки и обработки исходных данных при средне-, крупномасштабном прогнозировании любыми математическими методами во многом идентична, кроме того, пакеты обрабатывающих программ обычно содержат программы, отвечающие комбинации различных алгоритмов классификации и регрессионного анализа, и применяются в виде комплексной в той или иной мере комбинированной обработки исходной информации. В широком плане методические рекомендации по общей схеме решения задач оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых по категориям P_2 и P_3 при автоматизированном подходе рассмотрены в специальной работе КазИМСа [11].

3.4.4. Регрессионные методы

Регрессионные методы (методы построения идентификационных уравнений) основаны на установлении по эталонным объектам и использовании при определении прогнозных ресурсов оцениваемых объектов связей между интенсивностью оруденения и группой измеряемых или выражаемых количественно геологических, геофизических, геохимических и других признаков (характеристик). При этом обычно для сбора исходных данных оцениваемая территория разделяется на примерно равновеликие ячейки (например, квадраты). Ячейки, включающие месторождения с подсчитанными запасами, берутся в качестве эталонных. Интенсивность геологических признаков (факторов) определяется путем наложения сетки ячеек на карту и измерения площадей, длин и других проявлений признаков в каждой ячейке. Местоположение любой точки определяется в системе прямоугольных координат с выбранной точкой отсчета. В качестве переменных используются геологические характеристики, данные по которым имеются по всей площади (можно получить для каждой ячейки и данные по признакам типа «да-нет»). Могут быть использованы и искусственно получаемые переменные, отвечающие взаимодействию геологических факторов, например контакт между породами двух типов, расстояние от контакта до признака и т. п. При большом количестве признаков может быть проведена предварительная операция по выделению основных из них методом главных компонент или более распространенным в данном случае путем выделения переменных, обладающих большими коэффициентами корреляции с целевым признаком (запасами минерального сырья). Конечный результат статистической обработки исходного материала (многомерный регрессионный анализ) обычно выражается в виде уравнения регрессии типа

$$Q = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n,$$

где Q — запасы в пределах оцениваемой площади (ячейки); a_0, a_1, \dots, a_n — коэффициенты, полученные путем обработки данных по эталонным площадям; X_1, X_2, \dots, X_n — значения соответствующих признаков (факторов), снимаемые с оцениваемых территорий. Расчет прогнозных ресурсов оцениваемых объектов производится путем нахождения алгебраической суммы значений характеристик X_i , умноженных (взвешенных) на соответствующие коэффициенты a_i , то есть суммы произведений $X_i \cdot a_i$.

Если исходная информация выражается качественно, для решения рассматриваемой задачи применяются также логико-информационные методы (Константинов Р. М., Сиротинская С. В., Дмитриев А. Н. и др., 1975 и др.).

Подробно техника многомерного регрессионного анализа применительно к геологическим объектам описана в ряде работ (Прохоров Ю. В., Родионов Д. А., 1977; Родионов Д. А., Коган Р. И., Белов Ю. П., 1977 и др.).

Применительно к задаче оценки прогнозных ресурсов с помощью методов регрессионного анализа очень показательны исследования, проводимые с конца 60-х годов Канадской геологической службой. Описание их методики и результатов имеются в работах Ф. П. Аггерберга (1977), А. Г. Фабри и др. Как уже отмечалось, программы, основанные на методах классификации и регрессионного анализа, входят практически во все автоматизированные системы по обработке геологической информации.

Рассмотрим также еще один простой, но не часто применяемый метод оценки прогнозных ресурсов — корреляционный.

3.4.5. Корреляционный метод

Этот метод расчета прогнозных ресурсов базируется на эмпирически устанавливаемых статистически устойчивых связях между содержаниями в рудах (и, соответственно, запасами) различных полезных компонентов, встречающихся совместно и генетически взаимосвязанных. Применяется обычно в детальных масштабах для оценки ресурсов месторождений и рудных тел. Наиболее широко распространено определение этим способом запасов элементов-примесей (например, Re, In, Sc и др.) в зависимости от запасов основных компонентов (Mo, Zn, Be и др.), а также элементов, тесно парагенетически взаимосвязанных (прямой или обратной связью) в некоторых типах месторождений (Pb и Zn, Sb и Au, Cu и Mo, Cu и Ni, Au и Ag и т. д.). Прогнозные ресурсы ($Q_{пр}$) определяются по формуле линейного уравнения связи типа

$$Q_{пр} = a + b \cdot Q_{изв},$$

где $Q_{изв}$ — известные запасы одного из полезных компонентов; a и b — коэффициенты, устанавливаемые эмпирически по данным детального опробования разведанных месторождений аналогичного типа и условий нахождения.

Указанное уравнение следует применять при достаточно больших

значениях коэффициентов корреляции между содержаниями соответствующих компонентов ($r > 0,7$) и при высоком уровне их значимости (0,01), в противном случае аппроксимация связи между содержаниями компонентов линейным уравнением неправомерна, а аппроксимация уравнением более сложного вида резко уменьшает достоверность расчетов по аналогии.

Примеры расчета минеральных ресурсов корреляционным методом имеются для элементов-примесей в работах Н. В. Иванова (1963) и др., для сопутствующих компонентов — В. И. Бергера (1978) и др. Последним, например, корреляционным методом были получены контрольные оценки ресурсов сурьмы путем их расчета по некоторым формационным типам, исходя из устойчивых соотношений запасов сурьмы с запасами золота в золото-сурьмяных месторождениях и с запасами меди и свинца — в колчеданных. В. И. Бергером [6, с. 64] приводятся, например, такие соотношения ресурсов металлов: в зонах медноколчеданного оруденения $Sb:Cu$ (1:100) — (1:1000), колчеданно-полиметаллического — $Sb:Pb$ (1:30) — (1:100), золото-сурьмяного — $Au:Sb$ (1:1 000) — (1:10 000).

В качестве примера в табл. 15 приведены коэффициенты корреляции и уравнения регрессии свинца, цинка и кадмия в рудах месторождения Акжал (Центральный Казахстан). Устойчивая высокая корреляция содержаний (и запасов) цинка и кадмия позволяет использовать для расчета запасов кадмия (Q_{cd}) уравнения регрессии со следующими усредненными коэффициентами: для содержаний — $C_{cd} = 0,020Zn + 0,023$; для запасов — $Q_{cd} = 0,020Zn + + 0,023/V$; Q_{cd} — запасы кадмия, V — объем, C_{cd} — содержание кадмия.

Статистические методы подразумевают машинную обработку исходного материала на основе существующих или создаваемых информационных баз. Они лежат в основе создания автоматизированных информационно-прогнозирующих систем [1]. Автоматизация оценки прогнозных ресурсов предполагает автоматизацию всех ее этапов — сбор информации, подготовка ее к вводу в ЭВМ, ввод, обработка с помощью соответствующих пакетов программ, вывод результатов и даже, в определенной мере, их анализ. Работы в этом направлении проводятся за рубежом (Ф. П. Агтерберг, А. Г. Фабри, Дж. Ц. Гриффитс, Д. П. Дерри, Д. А. Зинтер, Д. Л. Мозес и др.) и в СССР (А. П. Куклин, А. Н. Бугаец, Л. Н. Дуденко, Р. М. Константинов, В. В. Марченко и др.). Одной из наиболее технологически развитых является рекомендованная Мингео СССР к внедрению в отрасли информационно-прогнозирующая система «Регион» (Чумаченко Б. А. и др., 1980).

3.4.6. Геохимические методы

Оценка прогнозных ресурсов потенциальных рудных полей, выраженных в геохимических аномалиях, базируется на результатах литохимических съемок по вторичным ореолам или потокам рассеяния (горные активно-денудированные районы), комплек-

Линейная корреляция содержаний свинца, цинка и кадмия в рудах месторождения Акжал (Центральный Казахстан). Расчеты Г. А. Булкина

№ п/п	Разрез	Участок опробования	Число анализов	Коэффициенты парной корреляции			Уравнение регрессии кадмия (Y) от цинка (X)	
				Pb—Zn	Pb—Cd	Zn—Cd	Коэффициент регрессии	Свободный член
1	VII	По разрезу	5	0,27	0,51	0,91	-0,015	0,038
2	A	Уровень: выше 555 м	9	0,90	0,89	0,99	0,020	0,016
3		555—475 м	13	0,10	0,03	0,98	0,002	0,014
4		475—415 м	17	0,80	0,84	0,97	0,013	0,012
5	A	Основное рудное тело	11	0,62	0,65	0,97	0,009	0,016
6	A	Рудные тела: C1—C5	9	0,74	0,73	1,00	0,088	0,009
7		C6—C9	7	-0,31	-0,36	0,99	-0,002	0,014
8		C10—C13	8	-0,75	-0,64	0,93	-0,012	0,016
9	T	Основное рудное тело	19	0,36	0,40	0,89	0,014	0,026
10	T	Рудные тела C1—C4	13	0,36	-0,31	0,99	-0,012	0,018
11	T	От разлома: до 30 м	8	0,43	0,42	0,98	0,013	0,040
12		30—60 м	13	0,53	0,60	0,98	0,020	0,019
13		свыше 60 м	8	-0,35	-0,16	-0,38	-0,055	0,010
14	C	Известняки: массивные кремнисто-глинистые	10	0,19	0,17	0,99	-0,003	0,021
15			4	0,99	0,97	0,99	0,029	0,013
16	L	Южные рудные тела	12	-0,19	-0,18	0,99	-0,028	0,078
17	L	Северные рудные тела	5	-0,45	-0,87	0,58	-0,011	0,014
18	L	Уровень: выше 515 м	5	-0,45	-0,40	0,99	-0,032	0,057
19		515—465 м	5	0,35	0,23	0,10	0,168	0,027
20		ниже 465 м	8	0,10	0,28	0,95	0,186	0,057
21	A	От дайки диабазовых порфиритов: до 30 м	8	-0,26	-0,19	0,44	-0,001	0,014
22		30—60 м	16	0,05	-0,08	0,99	0,004	0,015
23		свыше 60 м	16	0,58	0,61	0,96	0,009	0,017

сных литохимических и гидрохимических съемок (в слабонагруженных районах с повышенной мощностью элювио-делювиальных образований) и комплексных литохимических, гидрохимических, газовых и биогеохимических съемок по наложенным (солевым, газовым) ореолам (в закрытых районах с покровом рыхлых аллохтонных отложений повышенной мощности — 100–200 м). В геохимическом поле рудного поля и месторождения преобладает минеральная форма существования рудных элементов, кларки концентрации которых для ведущих элементов составляют, как правило, $n \cdot 10$, вплоть до $n \cdot 1000$ (для месторождений), связи между элементами характеризуют рудную формацию или минеральные типы рудной формации. В элементном составе геохимического поля существенную роль играют легко летучие компоненты, например F , а также перераспределение элементов породообразующих минералов (K, Ca, Ti, Na). Размеры геохимических полей рудного поля и крупных месторождений составляют первые десятки квадратных километров.

В зависимости от доступности опробования прогнозные ресурсы рассматриваемой стадии можно разделить на два типа выявленные в процессе геохимической съемки эродированные рудные поля и месторождения с легко доказуемыми запасами и прогнозируемые, не вскрытые эрозией рудные тела, оценка ресурсов которых традиционными методами крайне затруднена. Второй тип и для геохимических методов является очень сложным.

Решение задачи крупномасштабного количественного прогнозирования методами прикладной геохимии сводится к созданию геохимических моделей рудных объектов. Среди используемых методов оценки ресурсов в настоящее время наиболее разработаны и апробированы: 1) методы сравнения исследуемого объекта с эталонами, 2) методы универсальных функций, описывающих распределение индикаторных элементов в пределах рудных объектов, 3) методы эмпирических зависимостей, установленных при изучении оцениваемого объекта.

1 Сравнение исследуемых объектов с эталонами. Интерпретация и количественная оценка выявленных геохимических аномалий разработана наиболее полно для активно денудированных горных районов. В основу интерпретации вторичных остаточных ореолов положена диффузионная модель формирования вторичного ореола А. П. Соловова и дефлюкционная модель В. В. Подикарпочкина [3] (Дубов Г. И., 1974, Соловов А. П., Матвеев А. А., 1985). Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_2 ведется на основе расчета площадной продуктивности вторичного ореола, а выбор необходимых коэффициентов, связывающих продуктивность ореола и продуктивность рудного тела в коренном залегании, — на основе эмпирических оценок. Основную трудность при оценке прогнозных ресурсов составляет определение вероятной протяженности оруденения на глубину (h). Параметр h во всех случаях оценивается на основе знания формационной принадлежности предполагаемого или выявленного месторождения или рудопроявления.

Таким образом, в открытых активно денудированных горных районах использование геохимических данных для количественного прогнозирования рудных месторождений базируется на решении следующих задач: классификации гипергенных геохимических аномалий, определении адекватности вторичного ореола первичному и определении формационного типа рудной минерализации и уровня ее эрозионного среза на основе элементного состава первичного ореола. При этом практически на всех этапах решения задачи прогноза оруденения (определение типа вторичного ореола, определение формационной принадлежности оруденения на основе знания его элементного состава, оценка уровня эрозионного среза, прогнозных ресурсов) используется широко применяемый в современной геологии метод сравнения исследуемых объектов с эталонами (метод аналогий).

Для определения элементного состава оруденения на основе знания элементного состава остаточных литохимических ореолов существует достаточно много приемов. В основе их лежат представления о рядах гипергенной миграции, которые могут быть установлены по соотношениям средних содержания каждого элемента в контуре ореолов в рыхлом покрове и коренном залегании.

$$(\bar{C}_x/\bar{C}_o)_{op} = K(\bar{C}_x/\bar{C}_o)_r, \quad (23)$$

где \bar{C}_x — среднее содержание рудного элемента во вторичном ореоле (op) или коренном залегании (r), \bar{C}_o — среднее содержание элемента репера во вторичном ореоле (op) или коренном залегании (r), K — коэффициент относительной миграционной способности рудного элемента.

Оценка миграционной способности элементов производится при литохимических съемках по вторичным ореолам масштаба 1:50 000 в различных ландшафтных условиях на основе районирования территории по условиям проведения литохимических поисков, согласно действующей инструкции по геохимическим методам [3]. Эмпирические данные по значениям коэффициентов рассеяния (δ), коэффициентов миграционной способности (K) и коэффициентов пропорциональности (K_p) должны накапливаться в соответствующих разделах банка геохимических данных и использоваться для оценки элементного состава оруденения в коренном залегании на основе получаемых в результате съемки данных об элементном составе вторичных литохимических аномалий. Жесткость связи (адекватность) элементного состава вторичного ореола и оруденения в коренном залегании определяется типом вторичного ореола, поэтому первоочередным является решение задачи классификации обнаруженной геохимической аномалии и оценка на основе этой классификации численных значений коэффициента соответствия (K'), характеризующего зависимость между количеством металла ($m \cdot \%$, $m^2 \cdot \%$, т/м) в коренном оруденении и развитом за его счет вторичном остаточном ореоле.

$$M_{op} = K' \cdot M_{pT} \quad (24)$$

$$P_{op} = K' \cdot P_{pT} \quad (25)$$

$$Q_{op} = K' \cdot Q_{pT} \quad (26)$$

где M_{op} — линейная продуктивность вторичного ореола, м · %, P_{op} — площадная продуктивность вторичного ореола, м² · %, Q_{op} — запасы металла во вторичном ореоле, т/м, M_{pT} , P_{pT} , Q_{pT} — соответствующие параметры в коренном залегании

Элементный состав первичных ореолов определяется формационной принадлежностью оруденения, уровнем его эрозионного среза и является основой для решения обратной задачи поисковой геохимии — оценки формационного типа рудной минерализации и уровня ее эрозионного среза. Сложности решения обратной задачи связаны, в первую очередь, с отсутствием достаточно полных характеристик элементного состава оруденения в принятых классификациях рудных месторождений. Поэтому основной задачей в конкретных рудных районах является создание банка геохимических данных по элементному составу уже известных месторождений, на которых ведутся разведочные или эксплуатационные работы

Элементный состав оруденения в коренном залегании, рассчитанный на основе формул (23—26), изображается (записывается) в виде геохимических спектров, условных шифров, ранжированных рядов, мультипликативных или аддитивных показателей или распределения дискриминантных функций. Так или иначе построенная или описанная геохимическая характеристика оруденения в коренном залегании является основанием для отнесения рудной минерализации к определенному типу. Методика этих оценок во многом определяется типом минерализации и степенью его изученности. Наиболее реальным при решении этой задачи в настоящее время является метод прямых аналогий — сопоставление элементного состава аномалии с элементным составом известных эталонных объектов. В то же время применение метода аналогий невозможно без геохимической типизации известных рудных объектов, выбора эталонных объектов, геохимической специализации эталонов

Таким образом, определение минерального типа месторождений на основе элементного состава литохимической аномалии является важнейшим критерием ее перспективности. Это выдвигает на первый план при выборе эталонных объектов задачу изучения и анализа геохимических ореолов на уровне минеральных типов месторождений. Первые шаги в этом направлении сделаны Е. В. Плущевым и В. В. Шатовым

Для определения меры сходства элементного состава выявленной аномалии с эталонным объектом целесообразно использовать ранговые коэффициенты корреляции, дискриминантные функции, метод максимального правдоподобия и другие приемы. При отсутствии конкретных эталонных объектов для сравнения можно использовать элементный состав первичных ореолов важнейших типов рудных мес-

орождений, приведенный в инструкции по геохимическим методам поисков [3]

Вероятная протяженность оруденения на глубину (h) определяется формационным типом оруденения и уровнем его эрозионного среза. Последний оценивается на основе знания о зональном строении рудных тел и первичных ореолов. Единый обобщающий ряд зональности для сульфидсодержащих гидротермальных рудных месторождений (от подрудных элементов к надрудным) выглядит следующим образом (С. В. Григорян, Л. К. Овчинников, 1968 и др.): $W_1, Be, As_1, Sn_1, Au_1 \rightarrow U \rightarrow Mo \rightarrow Co \rightarrow Ni, Bi, W_2, Au_2 \rightarrow Cu_1, Zn, Pb, Sn_2, Ag \rightarrow Cd, Au_3, Cu_2, Hg, As_2, Sb, Ba$

Положение многих элементов в обобщенном ряду зональности оказывается двойственным. Это объясняется различными минеральными формами нахождения элементов в рудах и первичных ореолах. Конкретные ряды зональности существенно отличаются от обобщенного ряда. Для прогнозной оценки оруденения зональность первичных ореолов и руд используется с двух позиций: оценки уровня эрозионного среза с целью прогноза оруденения на глубину и разбраковки промышленного оруденения и зон рассеянной минерализации (ЗРМ)

Решение первой задачи — оценки уровня эрозионного среза — возможно с использованием метода аналогий при правильном подборе эталонного объекта. Для оценки уровня эрозионного среза, в метрике эталонного объекта, используются различные показатели зональности (v), представляющие собой отношения средних содержаний (продуктивностей) элементов, их сумм или произведений. На эталонных объектах изучаются закономерности изменения v в зависимости от глубины (Z), характер функции $v = f(Z)$. Для экзаменуемого объекта проводятся оценки Z в зависимости от v , а в конечном итоге определяется среднее значение уровня эрозионного среза (Z) и даются доверительные интервалы его оценки ($\pm \Delta Z$)

В конечном итоге подсчет прогнозных ресурсов слабо эродированного оруденения ведется по формуле, предложенной А. П. Соловым (1985) [12]

$$Q = \frac{1}{40} P_{pT} \cdot 0,8h,$$

где P_{pT} — площадная продуктивность оруденения в коренном залегании; h — вероятная вертикальная протяженность оруденения, выбранная на основе определения формационной принадлежности оруденения, 0,8 — поправочный множитель

Для оруденения, вскрытого эрозией до центральных частей, соответственно

$$Q = \frac{1}{40} P_{pT} \cdot 0,5h$$

Решение второй задачи — разбраковка промышлен-

ного оруденения и ЗРМ — базируется на эмпирических закономерностях, установленных для зон рассеянной минерализации, которые сводятся к следующему в строении ЗРМ отсутствует контрастная осевая зональность по величине мультипликативного коэффициента геохимической зональности, любые срезы ЭРМ соответствуют нижнерудным срезам

Знание типа минерализации и уровня его эрозионного среза позволяет перейти к прямому расчету ожидаемых прогнозных ресурсов категории P_2 . Прогнозная оценка ресурсов по потокам рассеяния состоит в определении типа минерализации и уровня эрозионного среза. В основе этих оценок лежат формулы, связывающие продуктивность потока, продуктивность вторичных ореолов, развитых в пределах площади водосбора, и продуктивность оруденения в коренном залегании

$$P^1 = KP_{op} = K'K''P_{рт},$$

где P^1 — продуктивность потока, $m^2 \%$, P_{op} — суммарная продуктивность вторичных ореолов, развитых в пределах водосборной площади, K' , K'' — коэффициенты соответствия

Эти же соотношения используются для оценки вероятных прогнозных ресурсов, они подсчитываются после геологического осмотра участков, в результате которого обнаружены коренные выходы или рудные свалы, позволяющие сделать выводы о генетическом типе оруденения, подтвержденные результатами спектрального анализа повторно контрольных, детализированных и штучных проб. Для подсчетов используется формула

$$Q_h^1 = \frac{1}{K'K''} \sum_{i=1}^m P_i \frac{1}{40} h_i,$$

где h — выбранная из геологических соображений глубина подсчета ресурсов, м, P_i^1 — устойчивые значения продуктивностей отдельных потоков рассеяния по m смежным руслам, дренирующим данный участок, $m^2 \cdot \%$

Методика расчетов продуктивности потока P_i^1 подробно изложена в инструкции по геохимическим методам [3]. Но параметры литохимических потоков — аномальные площади, значения склоновых коэффициентов α и λ , которые учитываются при определении истинной продуктивности, — изменяются в зависимости от шага опробования, и эти отличия значимые (Козлов Е. И., 1984). Последнее обстоятельство важно при оценке прогнозных ресурсов, при геологическом осмотре участка обязательно проведение более детального опробования с шагом отбора по потоку не менее 100 м

Оценка прогнозных ресурсов рудной минерализации, не выведенной на современный эрозионный уровень, достаточно сложна, особенно по результатам работ масштаба 1:50 000. Речь идет об интерпретации результатов комплексных литохимических, гидрохимических, а также газовых и биогеохимических съемок на площадях

развития мало контрастных, закрытых или погребенных вторичных ореолов. Прямые расчеты прогнозных ресурсов по геохимическим данным в этих условиях не ведутся. В определенных случаях удается определить только формационный тип рудной минерализации, используя для этого элементный состав вторичного ореола. Основной системы математической обработки данных в этих условиях должен явиться факторный анализ, позволяющий в большинстве случаев выявлять литогенную и рудогенную составляющую геохимического поля. Путем снятия литогенной составляющей производится фильтрация аномалий и уточняется их оценка (Проскуряков В. В. и др., 1982). Для прогнозирования новых рудных участков в таких условиях целесообразно использовать региональные геохимические данные.

Приведем пример оценки прогнозных ресурсов по данным геохимического картирования для редкометалльного оруденения штокверкового типа (по А. Н. Мельгунову).

Особенностью размещения месторождений является их преимущественная приуроченность к надинтрузивным зонам куполов верхнепалеозойских гранитоидов ачатауского комплекса. Основными элементами расчетной модели являются положение кровли интрузива и уровень эрозионного среза, степень накопления вольфрама и молибдена в пределах редкометалльной зоны, а также площадь ее развития на поверхности. Последнее устанавливается на основе совокупности критериев, которые включают наличие специализированных комплексов, распространение зон грейзенизации, контуры апикалы интрузивов по геофизическим данным и т. д.

Предлагаемая модель определяет следующие расчетные параметры для оценки прогнозных ресурсов: 1) кларки концентрации (K_n^1) молибдена и вольфрама специализированных комплексов пород, выходящих на поверхность, 2) площади комплексов пород (S_n) в пределах специализированных зон (обстановок), 3) глубина от поверхности до нижнего уровня балансовых руд (h), установленная по обобщенной модели (рис. 7), 4) коэффициент K , учитывающий уровень эрозионного среза и тенденцию изменения содержания молибдена и вольфрама по вертикали (см. рис. 7).

Расчеты производятся на основе сопоставления с эталонным объектом. В самом общем случае прогнозные ресурсы гидротермальных месторождений при расчетах по продуктивности первичных ореолов определяются по формуле [3]

$$Q = \alpha \frac{1}{40} Ph, \quad (27)$$

где P — площадная продуктивность ореолов, $m^2 \cdot \%$, h — расчетная глубина, м, α — соотношение запасов балансовых руд и общих геохимических ресурсов, устанавливаемое на основе эмпирического обобщения данных для конкретного типа месторождений или на основе эталонного объекта.

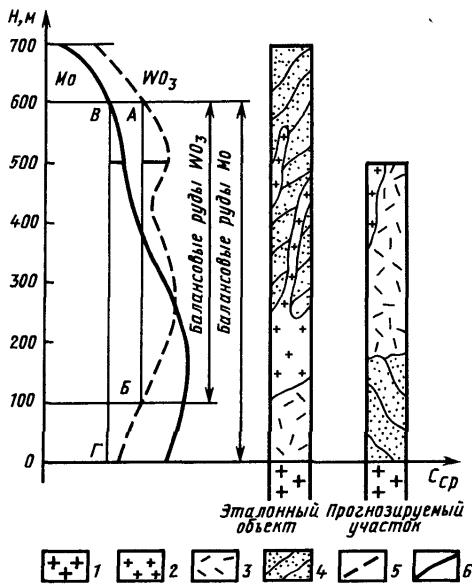


Рис 7 Расчетная схема для оценки прогнозных ресурсов редкометалльного оруденения грейзеновой формации (Составлена А Н Мельгуновым)

1 — лейкократовые граниты позднепалеозойского возраста 2 — гранит порфиры субвулканической фации 3 — липаритовые и дацит липаритовые порфиры покровной и жерловой фации 4 — аркозовые и полимиктовые песчаники алевролиты и аргиллиты 5 — график изменения содержания WO_3 в надинтрузивной зоне 6 — график изменения содержания Mo в надинтрузивной зоне

Для эталонного объекта

$$\alpha = \frac{Q_m}{Q_s} \quad (28)$$

где Q_m — запасы балансовых руд эталонного объекта, Q_s — геохимические ресурсы эталонного объекта

$$Q = \frac{1}{40} P_s h_s \quad (29)$$

где P_s — продуктивность ореолов или специализированных компонентов пород эталонного месторождения, $m^2 \cdot \%$, h_s — расчетная глубина, м.

В данном случае для редкометалльных месторождений h_s определяется от поверхности до нижнего уровня балансовых руд обобщенной модели

Подставим значения формул (28) и (29) в формулу (27)

$$Q = Q_m \frac{P_h}{P_s h_s} \quad (30)$$

где P и h — соответствующие параметры оцениваемого объекта. Продуктивность специализированных комплексов пород

$$P = \sum_1^n K_{k_n} \cdot S_n \quad (31)$$

где n — количество специализированных комплексов пород в пределах продуктивной зоны

Для эталонного месторождения

$$P_s = \sum_1^n K_{k_n} \cdot S_n \quad (32)$$

Поскольку на оцениваемом участке уровень эрозионного среза может быть отличным от такового на эталонном объекте, то необходимо введение поправки K , которая определяется как соотношение площадей под кривой изменения содержаний на графиках, построенных для эталонного месторождения и оцениваемого участка (см рис 7)

$$K = \frac{S_{yc}}{S_s} \quad (33)$$

где S_{yc} — площадь графика между линией АБ и кривой изменения содержаний (для вольфрама) до уровня эрозионного среза, S_s — то же для эталонного месторождения

Подставим значения формул (31) и (32) в формулу (30)

$$Q = Q_m \frac{h \sum_1^n K_{k_n} \cdot S_n}{h_s \sum_1^n K_{k_n} \cdot S_n} \quad (34)$$

Значения кларков концентрации (K_k) могут быть получены на основе ступенного опробования надинтрузивных зон, значения площадей снимаются с карты, величины h , h_s и K устанавливаются по обобщенному графику. Сходимость результатов на контрольных объектах оказалась хорошей. Так, для месторождения Байназар, по вольфраму прогнозные ресурсы ниже запасов, рассчитанных по категориям $C_1 + C_2$, на 20 %, для молибдена они практически совпадают с небольшим отклонением в сторону увеличения

2 Использование универсальных функций. Эта группа методов крупномасштабного и локального количественного прогнозирования основана на использовании геохимических данных по первичным ореолам детально изученных рудных месторождений. Такие условия существуют в старых горнорудных районах (Казахстан, Забайкалье, Урал, Приморье и др.) Количественная оценка объектов по геохимическим данным проводится в 3 этапа последовательно определяется формационная принадлежность объекта, уровень эрозионного среза и прогнозные ресурсы

Таблица 16

Эталонные ранжированные ряды химических элементов (Бурого и др., 1984) (на примере Приморья)

Тип месторождения	Ряды химических элементов
Оловорудное	Sn Bi Hg Zn Pb Ag W Au Cu Mo Sb
Полиметаллическое	Zn Pb Ag Mo Hg Bi Sn Sb W Au Cu
Оловянно-вольфрамовое	W Bi Sn Zn Au Pb Mo Cu Ag Sb
Вольфрамовое	W Bi Au Sn Cu Mo Zn Ag Pb Sb
Вольфрамовое	W Cu Pb Mo Ag Sn Zn Sb Au Bi
Золото-кварцевое малосульфидное	Au W Bi Sn Zn Cu Mo Pb Sb Ag
Золото-серебряное	Au Ag Zn Pb W Sn Mo Cu Sb Bi
Медно-висмутовое	Ag Bi Pb Cu Mo Zn Sn Sb W Au
Медно-молибденовое	Cu Mo Sb Zn Pb Sn Ag W Bi Au
Сурьмяно-ртутное	Sb Hg W Sn Mo Ag Au Pb Cu Zn Bi
Ртутное	Hg Mo Sn Zn Bi W Pb Sb Cu Ag Au

Принцип определения рудной формации заключается в сравнении исследуемого объекта со среднестатистическими моделями различных эталонов. Такие модели должны быть построены для каждой рудной формации региона в виде рядов химических элементов, ранжированных по убыванию значений отношения средних арифметических содержаний элемента в эталоне и в объекте (табл. 16). Принадлежность объекта к данному типу определяется по максимальной величине значимого коэффициента ранговой корреляции, отражающего степень сходства частного ранжированного ряда с эталоном.

Перспективность объекта оценивается по значению коэффициента концентрации основного или основных полезных компонентов в первичном ореоле (рис. 8) с учетом степени его эродированности. Для этого по мультипликативным геохимическим показателям или по концентрационным рядам объекта и эталона устанавливают уровень исследуемого пересечения в метрике эталона.

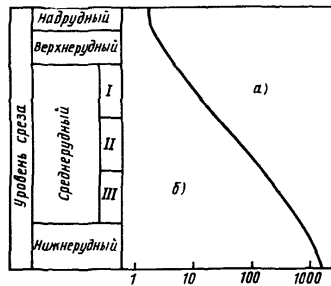


Рис 8 График-диаграмма оценки оловянного оруденения Поля аномалий. а — перспективные, б — неперспективные

Статистически детерминированная геохимическая модель оруденения представляет систему экспоненциальных уравнений, описывающих распределение концентраций химических элементов в пространстве.

В направлении осевого и продольного векторов оруденения изменение содержаний аппроксимируется функцией

$$C_{xy} = e^{-\alpha x^2 - \beta y^2} \cdot C_m,$$

а в направлении поперечного вектора — функцией

$$C_z = e^{-\gamma z^2} \cdot C_m,$$

где C, C_m — содержания элемента в точке опробования и в центре оруденения; α, β, γ — эмпирические коэффициенты; x, y, z — координаты точки опробования; $n=1 \div 2$ (если $n=2$, то эти уравнения описывают в трехмерном пространстве семейство эллипсоидов). Решение таких уравнений возможно численными методами и дает систему эмпирических коэффициентов применительно к эталонным выборкам.

Экспоненциальной зависимости подчиняются и интегральные геохимические характеристики — линейные продуктивности ореолов:

$$M_x = M_{\max} \cdot e^{-\alpha x^2}, \quad M_y = M_{\max} \cdot e^{-\beta y^2},$$

где M_{\max} — максимальное значение продуктивности по соответствующему уровню; α и β — эмпирические коэффициенты. Такие зависимости, построенные в логарифмическом масштабе для эталонных объектов, позволяют определить неизвестные коэффициенты, а затем уже можно по наблюдаемым значениям M оценивать прогнозные ресурсы исследуемого объекта.

Результаты количественной оценки одного из непромышленных месторождений олова показаны на рис. 9. В пределах выделенного контура несложно рассчитать прогнозные ресурсы.

Изменение с глубиной значений площадной продуктивности (P_i) описывается уравнением

$$P_i = \frac{\pi}{\sqrt{\alpha \beta}} \cdot C_i = e^{\gamma z^2} \left(P_0 + \frac{\pi}{\sqrt{\alpha \beta}} \cdot C_i \right),$$

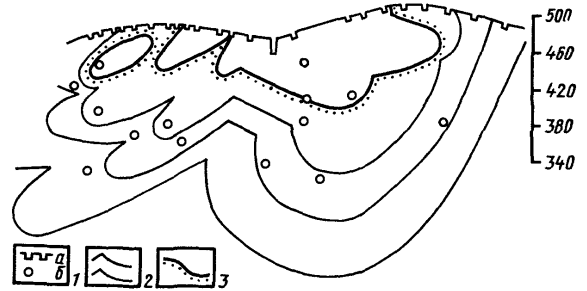


Рис 9 Результаты количественной оценки одного из оловорудных месторождений Приморья по значениям линейных продуктивностей рудных тел с геометризацией прогнозных ресурсов в плоскости рудного тела
1 — исходные пересечения рудного тела канавами (а) и скважинами (б); 2 — изолинии расчетных продуктивностей рудного тела по олову; 3 — расчетный контур промышленного оловянного оруденения

где α, β, γ — эмпирические коэффициенты; C_i — содержание, ограничивающее площадь подсчета P_i и P_0 .

В соответствии с фактическими данными изменение в пространстве значений мультипликативных геохимических показателей в большинстве случаев подчиняется экспоненциальной зависимости.

Из одномерных вариантов количественного прогнозирования наибольшим применением пользуются: метод оценки прогнозных ресурсов по значениям линейной продуктивности рудных тел и их первичных ореолов; метод количественной оценки оруденения по значениям площадной продуктивности (расчет выполняется с помощью специальной номограммы). При пользовании этими моделями предварительно любыми доступными средствами устанавливается уровень эрозионного среза оцениваемого объекта. Первый метод позволяет определять глубину до максимума, размах оруденения и прогнозные ресурсы металла на изученный интервал рудного тела по простиранию. Вторым методом задача решается без геометризации прогнозных ресурсов.

Двумерное количественное прогнозирование осуществляется в продольном разрезе рудного тела или ореола с предварительным *осреднением данных на мощность рудного тела или блока пород*, в поперечном вертикальном и любом наклонном разрезе, в горизонтальной плоскости. Расчеты выполняются на ЭВМ путем решения рассмотренной системы экспоненциальных (или логарифмических) уравнений. Непременными требованиями к входным данным являются расположение точек опробования на некоторой неровной поверхности (распределение точек по оси Z) и число проб, не меньше 6.

В результате расчетов можно получить значение и координаты центра оруденения, прогнозный контур промышленных руд, степень эродированности в процентах, прогнозные ресурсы металла в ореоле или в рудных телах. Исходными данными могут служить содержания химических элементов или полученные на их основе геохимические показатели.

3. Использование эмпирических зависимостей. В настоящее время наряду с геохимическими показателями, являющимися обобщенными функциями концентрации, и их согласованностью в определенных ассоциациях элементов, используются и основные геохимические статистики: средние, дисперсии, коэффициенты корреляции между концентрациями элементов. Однако в связи с тем, что каждая из статистик отображает только одну из сторон процесса рудообразования, в последние годы предпринимаются попытки разработки комплексного критерия прогнозирования.

Интегральные нормированные оценки рудоносности Z_{p_n} для заданных ассоциаций индикаторных элементов с учетом корреляционных связей между ними рассчитываются по формуле (Вострокутов Г. А., 1982):

$$Z_{p_n} = \frac{\sum_{i=1}^k Z_{p_i}}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^k r_{ij}}}$$

где Z_{p_i} — единичная нормированная оценка рудоносности элемента i ; $i=1, 2, \dots, k$ — номера элементов, r_{ij} — коэффициенты парной корреляции между элементами i и j (суммируются в матрице размером $K \times K$),

$$Z_{p_i} = (X_{p_i} - \bar{X}_i) / S_{x_i}$$

где $x_i = \lg C_i$, а x_i и S_{x_i} — оценки параметров распределения содержаний C_i .

Единичные и интегральные нормированные оценки рудоносности выражают эмпирически установленные зависимости между нарастанием средних содержаний, увеличением дисперсии концентраций, усилением корреляционных связей между индикаторными элементами и возрастанием перспективности объектов.

Для оценки прогнозных ресурсов используется зависимость

$$Q = P_0 \cdot P_{p_i} \cdot M_{p_i} \cdot K_i$$

где P_0 — вес оцениваемого объекта ($P_0 = V_0 \cdot d_0$, здесь V_0 — объем объекта по структурно-геологическим и геофизическим данным, d_0 — плотность объекта); P_{p_i} — вероятность встречи в пределах данного объекта рудных концентраций металла i при заданном уровне содержания C_{p_i} ; M_{p_i} — прогнозируемая медианная концентрация металла i в руде при заданном C_{p_i} ; K_i — эмпирический коэффициент соответствия прогнозных и разведанных ресурсов металла в рудах.

Величины P_{p_i} определяются из таблиц интеграла вероятностей (по Шеппарду), приведенных в большинстве работ по математической статистике. Используются значения интеграла вероятностей, соответствующие рассчитанной величине единичной нормированной оценки рудоносности Z_{M_i} . Величины M_{p_i} вычисляются по формуле

$$\lg M_{p_i} = Z_{M_i} \cdot \hat{S}_{x_i} + X_i$$

где Z_{M_i} находится из таблиц интеграла вероятностей через равенство $F(Z_{M_i}) = 1 - 0,5 P_{p_i}$.

Вычисления прогнозных ресурсов могут производиться для разных уровней C_{p_i} , а также для различных доверительных интервалов надежности выборочных оценок статистик x_i и S_{x_i} . Получаемые при расчетах величины прогнозных ресурсов являются несмещенными оценками в связи с несмещенным характером X_i и S_{x_i} ; они в пределе сходятся (с учетом коэффициента K_i) к разведанным запасам металла.

Геохимические исследования вообще, и прикладная геохимия в частности, традиционно направлены на изучение частотных законов содержаний элементов в пределах изучаемой площади или геологически самостоятельных ее частей. Однако при этом, после статистической обработки данных и установления, что «распределение элемента не противоречит такому-то закону», в дальнейшем используются основные параметры этого закона для определения фонового и аномального содержаний. В соответствии с этим для

оценки прогнозных ресурсов используется не вся информация об объекте, а лишь та ее часть, которая дается пробами с содержаниями выше некоторого уровня.

В то же время полную информацию об объекте (с любым заданным уровнем достоверности) несет лишь закон распределения содержаний по частоте встречаемости, являющийся (Кистеров К. В., Питулько В. М., 1979) характеристикой генетического типа месторождений, устанавливаемой по всем имеющимся данным. Задача прогноза, следовательно, сводится к установлению законов частотного распределения содержаний полезного компонента на изучаемой площади и выделению ареалов распространения каждого закона. Решение этой задачи предусматривает машинную обработку данных с распознаванием области распространения конкретного закона, установленного ранее для соответствующих эталонных объектов.

Роль исследования частотных законов содержаний особенно важна именно для прогнозной оценки территории. Поскольку объектом оценки являются, однако, не содержания, а запасы, то исследованию подвергается не сам частотный закон содержаний $P(C) = f(C) dC$, а функционально связанное с ним распределение запасов $M = F(m) dm$, которое представляет собой распределение запасов M по запасам проб m (назовем его структурой запасов). В этих выражениях запас единичной пробы равен содержанию, умноженному на объем пробы.

Преимущества использования для прогнозных оценок именно структуры запасов связаны с тем, что в ней непосредственно отражается величина, подвергающаяся оценке и с тем, что с ее помощью более надежно проверяется установленный закон распределения. Если структура запасов известна, то, применяя принцип максимального правдоподобия, можно найти наиболее эффективную оценку богатства промышленного оруденения в заданных условиях.

Применительно к поискам месторождений по вторичным ореолам и потокам рассеяния задача прогнозной оценки решается по-прежнему методом эталонирования, но не путем определения эмпирических коэффициентов, а путем установления соответствия структуры запасов в рыхлом чехле и в коренных породах. Имеющийся опыт (например, обзор В. В. Богацкого, 1963) показывает, что для коренных месторождений частотные законы одинаковы в пределах генетического типа. Поэтому накопление материала по частотным законам для рыхлого чехла и установление соответствия их с частотными законами первичного геохимического поля позволит в будущем на новых объектах ограничиваться лишь проверкой выполнения этих законов.

Знание структуры запасов на исследуемой площади логически дает возможность оценить долю запасов, локализованных в виде объектов различного ранга и составить наиболее вероятный полный список объектов, ранжированный по богатству оруденения.

Естественно, что подобный подход применим и к уже локализованным объектам. При этом он позволяет не только оценить

масштаб объекта с заданной точностью (зависящей от густоты опробования), но и получить сведения о еще невыявленных объектах. Вопрос о густоте наблюдений решается на основе директивных данных об экономической потребности в запасах, глубине подсчета и бортовом содержании, определяющих размеры ячейки сети.

В качестве примера приводятся данные по структуре запасов (рис. 10) золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского пояса и по золото-серебряным месторождениям и проявлениям первично-кварцевой зоны. Они показывают, что эти распределения обла-

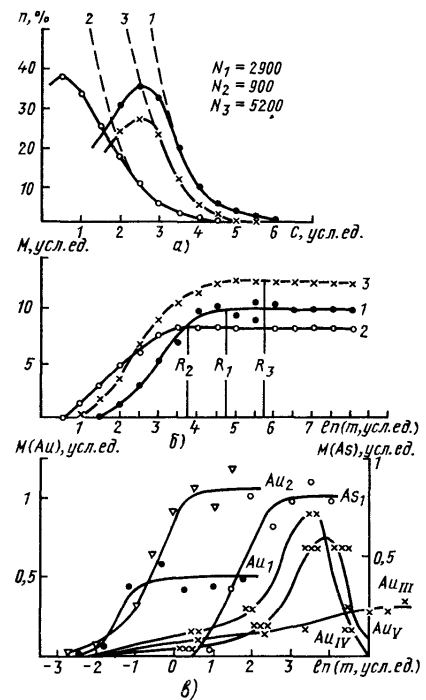


Рис. 10 Структура запасов золоторудных проявлений (по данным К. В. Кистерова и В. М. Питулько, 1979)

а - частотные распределения запасов золоторудного района 1 - коренные источники 2 - вторичные ореолы 3 - рассеяния б - структура запасов золота (усл. ед.) для этих объектов в - структура запасов золота (усл. ед.) во вторичном ореоле золото-серебряного месторождения (Au₁) золота и мышьяка низкотемпературного золоторудного проявления (Au₂ и As₁) золота на участках Скальном (весь узел) - Au₃ Спутник 2 Au₄ и Уральский Au₅

дают устойчивостью на всех этапах преобразования рудного материала (для основного полезного компонента) рудное тело — вторичный ореол — литохимический поток рассеяния — аллювиальная россыпь, — подчиняясь на каждом этапе уравнению

$$dM = Rm^{-1} dm,$$

где R — коэффициент, характеризующий богатство оруденения. Исследование свойств этого уравнения приводит (на основе принципа максимального правдоподобия) к максимально эффективной оценке промышленных запасов M

$$M = \mu N_{\alpha} S h d,$$

где μ — промышленные кондиции на содержание золота в рудах, S — площадь ячейки сети опробования, N_{α} — относительное количество проб с содержанием выше α (выбранное бортовое содержание), h — глубина подсчета, d — удельный вес горных пород. Предлагаемый подход позволяет успешно решать задачу определения масштаба промышленного оруденения по результатам изучения вторичных ореолов.

Следует отметить, что данные по структуре запасов для каждого региона могут быть получены из имеющихся в ПГО материалов по опробованию промышленных объектов и, будучи представлены в табличной или графической форме, позволят определить как вид закона частотного распределения, так и цифровые градационные параметры R , характеризующие уровень концентрации полезного компонента.

В практике поисково-разведочных работ на олово в районах Северо-Востока СССР находит применение еще одна эмпирическая зависимость «прогнозные ресурсы — комплексный геохимический показатель» (Приставка В А, 1984). Этот показатель построен с учетом индикаторной роли отдельных компонентов геохимических аномалий, которая определяется информативностью каждого элемента-индикатора относительно оловянного оруденения. В свою очередь, информативная значимость каждой градации содержаний элемента-индикатора выражается количеством информации, заключенной в данной градации содержания исследуемого элемента (Вентцель, 1969),

$$I_{A_i} \rightarrow B_i = \lg \frac{P(A_i/B_i)}{P(A_i)},$$

где $P(A_i/B_i)$ — вероятность встречи i -градации содержания элемента A для известных интервалов (участков) оловянного оруденения (B_i) — вероятность i -градации содержания элемента A в пределах исследуемого геохимического поля.

Алгебраическая сумма I для всех элементов представляет количественное выражение комплексного геохимического показателя интенсивности многокомпонентного ореола. Для целей прикладной геохимии в отношении оловянных тел достаточно учитывать 5—10 индикаторных элементов (олово, бор, серебро, вольфрам, медь, мышьяк, сурьма, висмут, молибден, свинец).

Уравнение зависимости прогнозных ресурсов олова имеет вид

$$\lg P = 0,17 \cdot I + 3,0,$$

где P — оценка ресурсов в блоке рудного тела, I — величина комплексного геохимического показателя.

Таким образом, первая группа методов характеризуется достаточно высокой эффективностью, но дает ошибки в тех случаях, когда индивидуальные особенности оцениваемого объекта существенны. Наиболее часто используемым среди методов сравнения (аналогии) по продуктивности геохимических аномалий является метод А. П. Соловова. Недостатками его оказываются ошибки в оценке собственно промышленных ресурсов, субъективный характер оценок (начиная от выбора теоретических моделей до введения различных коэффициентов), отсутствие оценки точности прогноза. Ошибки аналогии особенно велики на поисковой стадии, именно они лимитируют повышение эффективности всего геологоразведочного процесса.

Методы, относящиеся ко второй группе, обладают удовлетворительной разрешающей способностью и высокой объективностью, но имеют ряд недостатков, связанных с условиями их применения: отсутствие во многих случаях аналитических решений систем нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих процесс ореолообразования, отсутствие надежных численных значений констант, характеризующих условия миграции и т. д.

Третья группа методов обладает высокой надежностью, но требует сравнительно хорошей изученности оцениваемого объекта.

Оценка прогнозных ресурсов возможна и по другим видам ореолов рассеяния — гидрогеохимическим, биогеохимическим, атмосферическим. Соответствующие методы разработаны еще слабо. Предложена математическая модель водного потока рассеяния и выведено уравнение, связывающее продуктивность месторождения и параметры речного потока рассеяния [12]

$$\frac{1}{K^1} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} = a(C - C_{\phi}) + \frac{\Delta(b \cdot P^1)}{\Delta x},$$

где P — приращение продуктивности месторождения на рассматриваемом интервале Δx (например, расстояние между точками опробования), C_{ϕ} — фоновые концентрации, P^1 — продуктивность потока рассеяния, $P^1 = (C - C_{\phi}) \cdot F$, F — площадь бассейна в каждой точке, K — коэффициент, зависящий от скорости разрушения месторождения (выноса его вещества в реку) и доли элемента, поступающего в поток рассеяния в данной фазе, a — коэффициент, характеризующий накопление этой фазы в данной точке, определяемый динамикой реки и фазовыми переходами различных веществ, b — коэффициент выноса элемента вниз по реке, зависящий от динамических параметров.

Для практического использования в приведенном выше уравнении последний член раскладывается на два

$$\frac{1}{K^1} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} = a \cdot (C - C_\phi) + b \frac{\Delta P^1}{\Delta x} + \frac{\Delta b}{\Delta x} P^1$$

Величины C , C_ϕ , $P^1/\Delta x$, P^1 известны по данным опробования и измерения площадей. Вычисление входящих в уравнение коэффициентов a , b , b/x производится путем моделирования на ЭВМ. Используются шлейфы потоков рассеяния при $P=0$

$$a(C - C_\phi) + b \frac{\Delta P}{\Delta x} + \frac{\Delta b}{\Delta x} P^1 = 0$$

Для вычисления указанных трех неизвестных величин привлекаются данные по трем соседним точкам для случаев различного удаления от вершины бассейна (при разных x и F)

Информация о величинах коэффициентов и их изменении в зависимости от x и F используется для вычисления ΔP для каждой точки потока C помощью ЭВМ строится карта в изолиниях ΔP , на которой напечатана также сумма для каждой аномалии — суммарная в пределах данного бассейна продуктивность месторождения, связанного с бассейном. Общая продуктивность всей изученной площади определяется как сумма P отдельных аномалий.

Если известна величина K (определяется на основании изучения потока рассеяния эталонного месторождения), то P и ΔP выражаются в абсолютных единицах (тоннах). Если значение K не известно, то продуктивность и ее приращения выражаются в условных единицах $1/K \cdot P$ и $1/K \cdot \Delta P$, позволяющих сравнивать аномальные участки между собой.

Для оценки прогнозных ресурсов рудных тел по их гидрохимическим ореолам рассеяния рекомендуется также уравнение (Е. М. Квятковский, И. Н. Крицук, 1972)

$$Q = (C_1 - C_\phi) - K_1 \cdot \Sigma Q_m^p$$

где Q_m^p — запасы металла в растворяющейся части рудных тел, расположенных в пределах водосборной площадки, т; Q — среднегодовой подземный или поверхностный сток с данной водосборной площадки, л/год; C_1 — среднегодовое содержание металла в подземных (поверхностных) водах аномальной водосборной площадки, мг/л; C_ϕ — фоновое содержание металла в водах района, мг/л; K_1 — коэффициент пропорциональности.

Гидрохимический метод первоначально разрабатывался для сульфидных руд, которые неустойчивы в зоне гипергенеза и дают компоненты, растворимые в воде. В дальнейшем его стали применять и для месторождений многих других типов (В. В. Поликарпочкин, 1978).

Определенные перспективы имеет разрабатываемая Е. В. Плющевым и В. В. Шатовым (1985) методика оценки прогнозных

ресурсов рудных полей по данным геохимических исследований на основе региональной метасоматической зональности. Она базируется на представлениях о сопряженности гидротермально метасоматических образований пропилито-березитовых систем. Считая эти системы условно замкнутыми, принимается, что количество металла, вынесенного из зоны пропилитизации (P^1) примерно равно его количеству, привнесенному в зону березитизации (P^2). Оценки P^1 и P^2 делаются на основе специального картирования гидротермально метасоматических образований и геохимического опробования в том же масштабе коренных пород. Часть перемещенного металла (Q) — от 1 до 10 % может быть сконцентрирована в промышленных рудах

$$0,01 P^1 \leq Q < 0,1 P^1$$

3. 4. 7. Геофизические методы

Определение прогнозных ресурсов при исследованиях масштаба 1 : 50 000 производится по материалам 1) геофизических съемок масштаба 1 : 50 000 и крупнее, опережающих геолого-съемочные работы, 2) поисковых геофизических работ тех же масштабов и 3) геофизических исследований, сопровождающих геолого-съемочные работы.

Для выделения перспективных на полезные ископаемые структурно-вещественных комплексов (в данном масштабе рудных полей, небольших угольных бассейнов) и для оценки их прогнозных ресурсов по категории P_2 используются материалы геофизических съемок масштабов 1 : 50 000 — 1 : 10 000, таких как аэромагнито-разведочных, аэроэлектроразведочных, аэроадиометрических и гравиметрических, с учетом имеющейся геологической информации. Основной подход к определению прогнозных ресурсов основан на принципе аналогий с хорошо изученными и оцененными объектами. Выявленные в процессе геофизических съемок отдельные аномалии, относимые на основании их интерпретации к рудным, оцениваются не только на основании аналогии с аномалиями известных месторождений и рудных тел (при использовании коэффициентов рудоносности), но также на основании тех или иных физико-геологических моделей.

Например, прогнозная оценка магнетитовых месторождений может производиться на основании определения по магнитным данным объема и избыточной намагниченности аномалеобразующих тел, прогнозная оценка железорудных, хромитовых и некоторых других месторождений устанавливается по массе и избыточной плотности объекта, получаемых из гравиметрических данных. При определенных корреляционных связях между геологическими и геофизическими параметрами прогнозная оценка таких месторождений (тел) может быть определена с достаточной надежностью. Имеются примеры успешного использования геофизических данных самостоятельно и в сочетании с геологическими и геохимическими

для оценки прогнозных ресурсов меднопорфировых, полиметаллических, хромитовых и других месторождений.

С помощью интерпретации аномалий естественного электрического поля успешно определяются мощность зоны вторичного обогащения (на медных месторождениях) и связанных с ней прогнозных ресурсов (Свешников Г. Б. и др., 1983). В благоприятных геологических условиях запасы сульфидных руд могут оцениваться количественной интерпретацией аномалий поляризации (Комаров В. К., 1966). По данным гамма-съемки оцениваются прогнозные ресурсы не только радиоактивного сырья, но и некоторых видов нерадиоактивного; например: тантала, ниобия, фосфора, редких земель и др., — содержание которых также коррелируется с интенсивностью гамма-поля (Вахромеев Г. С., 1969). Рассматривая радиоактивную аномалию в современном элювии-делювии или в древних корах выветривания в качестве вторичного остаточного ореола рассеяния соответствующего радиоактивного элемента, оценку прогнозных ресурсов металла в рудопроявлениях можно производить так же, как и при оценке литохимических аномалий.

При привлечении геофизических данных может быть повышена достоверность оценки ресурсов по продуктивности вторичных ореолов. Например, при оценке ресурсов флюорита с помощью гравиразведки величина избыточной плотности $0,35 \text{ г/см}^3$ отвечала промышленным рудам флюорита и повышенной продуктивности вторичных ореолов рассеяния (Вахромеев Г. С., Дудко Е. А., 1971).

При оценке проявлений минерализации масштаб оруденения при наличии сведений о рудоносности участка и генетическом типе оруденения может быть иногда оценен уже по размеру контура пониженных (повышенных) магнитных полей, значений кажущегося сопротивления, высокой поляризуемости пород, аномалий естественного электрического поля, интерпретаций гамма-аномалий. Так, по М. П. Русакову*, прогнозные ресурсы меди месторождений порфирового типа в контуре геофизической аномалии площадью 1 км^2 можно оценить в 1 млн т (при средней вертикальной мощности зоны вторичного обогащения 40 м и содержании меди в рудах 1%). При умеренной роли вторичного обогащения и сосредоточении основных промышленных запасов в первичных рудах крупное месторождение может дать геофизическую аномалию меньшей площади, но обычно превышающую $0,3 \text{ км}^2$. Для молибденовых месторождений штокверкового типа в качестве потенциальных крупных объектов можно рассматривать рудопроявления, характеризующиеся по геофизическим данным площадью $\approx 0,1 \text{ км}^2$ (на картах масштаба $1:10\,000$ эти объекты вырисовываются примерно размерами $5 \times 3 \text{ см}$).

Наиболее разработаны методы оценки по геофизическим аномалиям для магнетитовых месторождений. Например, А. В. Веймберг (1969) предлагает для прогнозной оценки железа (Q , млн т) в

контактово-метасоматических месторождениях использовать такие параметры магнитной аномалии, как максимальное ее значение (Z_{max} , тыс. нТл), периметр по полуамплитудному значению и глубина залегания тел (L и h в сотнях метров):

$$Q = 0,125 \cdot L \cdot b \cdot h \cdot Z(1 + 0,09Z).$$

Данный метод прогнозной оценки применим, если глубина залегания тела не превышает его видимой мощности. Погрешность оценки порядка $30\text{—}50 \%$.

Во всех случаях обоснованность прогнозных ресурсов категории P_2 увеличивается, если имеются данные о качестве полезного ископаемого, хотя бы в единичных пересечениях. Так, при оценке прогнозных ресурсов хромитовых руд (Сегалович В. И., 1971) с использованием скважин и скважинных исследований ошибка подсчета ресурсов хромита составила 15% по сравнению с разведанными впоследствии запасами. Начиная с масштаба $1:10\,000$, гравитационные аномалии по существу могут быть использованы в качестве прямых поисково-оценочных критериев хромитоносности. Геофизические методы выступают не только в качестве прямых методов поисков и оценки, но и как методы выявления косвенных признаков рудоносности. Целесообразно при этом комплексировать прямые и косвенные методы.

Возможности использования комплекса методов для прогнозной оценки ресурсов рассмотрим на примере поисков бокситов в Тургайском прогибе (Александров И. Г. и др., 1971). Геофизическими методами при поисках бокситов решаются три основные задачи: а) картирование палеозойского фундамента с целью выделения контактов карбонатных отложений с эффузивами, к которым обычно приурочены месторождения; б) оконтуривание карстовых депрессий в палеозойском фундаменте, где сосредотачиваются рудные тела; в) выявление бокситоносных тел.

Зона контакта эффузивных образований с карбонатными может быть зафиксирована под покровными образованиями методами магниторазведки. На результативных картах эта зона выражена как смена сложного магнитного поля, характерного для эффузивных образований, спокойным небольшой интенсивности полем, присущим известнякам. Перспективной на бокситы является зона известняков шириной в несколько сотен метров, примыкающая к контакту. Прогнозную оценку ресурсов такой зоны в Тургайском прогибе можно дать по сравнению с эталонной зоной. В качестве эталонной зоны выбран участок, где контакт эффузивов с известняками четко фиксируется сменой характера магнитного поля, а в приконтактовой двухсотметровой зоне в пределах развития карбонатных пород известны рудные тела бокситов. В этом примере рудные тела четко вырисовываются на картах, и площадь их выхода на поверхность легко измерить, поэтому удельная поверхностная продуктивность эталонной зоны ($q_{\text{ст}}$, млн т/км²) оценивается как произведение среднего взвешенного содержания алюминия в рудах (C) на коэффициент рудоносности зоны. Коэффици-

* Геофизические поиски рудных месторождений. — Алма-Ата, 1970.

коэффициент рудоносности зоны (k) определяется отношением площади проекции рудных тел на поверхность (S_r) к площади рудоносной зоны (S_z). Для нашего примера $k = S_r/S_z = 0,15$. Считая глубину распространения рудных тел и зоны одинаковой, можно принять, что $k = 0,15$ и в объемном выражении. Тогда удельная продуктивность $q_{ст} = 0,15 \cdot C$ млн т/км³. При указанном условии такой же будет и площадная продуктивность: $0,15 \cdot C$ млн т/км².

Оценка прогнозных ресурсов аналогичных перспективных на бокситовые руды зон находится умножением удельной продуктивности эталонного объекта ($q_{ст}$) на площадь этих зон. Определенные таким образом прогнозные ресурсы имеют низкую достоверность, которая может быть увеличена, если будут выявлены дополнительные признаки (например, карстовые депрессии в палеозойском фундаменте). Выявление этих депрессий возможно методом электрондирования, который показал достаточную эффективность в Тургайском прогибе. В этом случае оцениваются лишь участки карстовых депрессий, которые составляют определенную долю перспективной площади. Естественно, и удельная продуктивность карстовых депрессий, определенная по эталонному участку, будет выше. Удельную продуктивность карстовых депрессий можно представить и объемной величиной, учтя среднюю глубину депрессий эталонного участка. При этих дополнениях увеличивается точность прогнозных ресурсов перспективных на бокситы площадей. Она может быть еще более увеличена, если применить высокоточную магнитную съемку, направленную на выявление непосредственно бокситоносных залежей в перспективной зоне или в ее отдельных частях.

Одним из существенных вопросов методики оценки прогнозных ресурсов является их надежность. Она определяется такими характеристиками методов и проведенных работ, как ошибки I и II родов.

Ошибка I рода обусловлена тем, что сходные аномалии могут порождаться различными причинами. При поисках сульфидных тел методами ЕП и ВП выделяются не только рудные тела, но и участки безрудной сульфидизации. При поисках магнетитовых месторождений методами магниторазведки похожими аномалиями выделяются основные и ультраосновные интрузии и другие тела, обогащенные магнетитом. Ошибки I рода могут быть весьма велики: так, при поисках магнетитовых месторождений в Алтае-Саянской области, по данным О. А. Совадского, ошибка I рода составила 0,87; при поисках касситерит-сульфидных месторождений в Приморье методом ЕП она составила 0,26. При неучете ошибки I рода (поправочными коэффициентами) оценка прогнозных ресурсов может быть значительно завышена.

Ошибки II рода обусловлены двумя причинами: во-первых, объекты не всегда создают аномалии, выявляемые геофизическими методами или их комплексом, и, во-вторых, объекты могут быть пропущены из-за недостаточной плотности сети или недостаточной точности измерений. Ошибки II рода также могут быть весьма велики. Так, по данным А. С. Полякова, аномалиями ВП не отмеча-

ется до 48 % месторождений свинца и цинка в карбонатных породах, методом ЕП — до 70 % оловянных месторождений (в Приморье). Ошибки II рода занижают оценки прогнозных ресурсов.

Способы оценки надежности определения прогнозных ресурсов, учитывающие как геологические особенности объектов, так и ошибки геофизических методов, в настоящее время мало разработаны.

Одним из наиболее простых и достаточно надежных способов является использование формулы проверки гипотез Байеса, позволяющей синтезировать три таких важных показателя, как: вероятность наличия месторождения (рудного тела) на изучаемой площади (P) и величина ошибки первого ($P_{2,1}$) и второго ($P_{1,2}$) рода. В общем виде надежность оценки (D) определяется соотношением

$$D = \frac{P(1 - P_{1,2})}{(1 - P)P_{2,1} + P(1 - P_{1,2})}$$

При геофизических исследованиях, сопровождающих геологосъемочные работы, прогнозная оценка производится на основании геологических и геофизических данных, и соответственно значительно увеличивается количество признаков аналогии, что естественно делает оценку более обоснованной. Еще более обоснованной прогнозная оценка будет, если потенциально рудоносное тело вскрыто единичными скважинами или горными выработками.

При прогнозной оценке ресурсов выявленных месторождений возрастает роль и значение скважинных и межскважинных геофизических исследований по сравнению с наземными. Для определения содержания полезного компонента в рудном теле широко используются **ядерно-геофизические методы каротажа**. Методами актиационного каротажа, например, определяется содержание в руде F , Al , Co , Au и др.; рентгено-радиометрическим методом — содержание всех металлов с порядковыми номерами более 30—40; нейтронным гамма-методом — B , Ni , Fe , Mn и т. д. Магнитный, электрический и радиометрический каротаж позволяет с большой точностью определить границы магнитных, электропроводящих и радиоактивных рудных тел. Особое место занимает метод заряда, дающий возможность оценить объем и проекцию на поверхность рудного тела, вскрытого хотя бы единичной скважиной. Большая группа **геофизических скважинных методов** (ВП, магниторазведка, радиоволновое просвечивание, акустический и т. д.) позволяет выделить в околоскважинном и межскважинном пространстве рудные тела и тем самым увеличить точность оценок прогнозных ресурсов изучаемых месторождений.

Большие перспективы имеет также выделение и оценка рудоносных объектов по совокупности геологических, геофизических и геохимических данных с построением определенного набора вторичных признаков (трансформант).

3.4.8. Метод геолого-экономических экстраполяций

В основе метода лежит учет динамики развития и темпов прироста запасов и ресурсов в зависимости от продолжительности освоения объекта, вкладываемых средств, объема горных и буровых работ и их экстраполяция на будущее. Этот метод в большей мере применим для оценки рудных полей и месторождений, находящихся в зрелой стадии изучения, то есть когда динамические кривые типа: время—запасы (ресурсы), объем работ—запасы (ресурсы), вложенные средства—запасы (ресурсы) миновали свое максимальное значение (Habbert M. K., 1974 и др.).

Общий вид кривой, описывающей количество запасов (Q) в зависимости, например, от объема бурения (H) будет

$$Q(H) = \int_0^H \left(\frac{dQ}{dH} \right) dH.$$

Метод геолого-экономической экстраполяции вытекает из предположения о том, что при разведке месторождения, например, буровыми скважинами после некоторого наибольшего прироста запасов дальнейшее их увеличение на метр бурения постепенно снижается, что может быть представлено статистической моделью отрицательно-экспоненциальной зависимости. Эта зависимость имеет следующий вид:

$$\left(\frac{dQ}{dH} \right)_H = \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 e^{-aH}, \quad (35)$$

где первая дробь — скорость открытия запасов (Q), при некоторой совокупной проходке H метров; вторая дробь — начальная скорость открытия; a — показатель экспоненты. Подстановка реальных значений скоростей открытия в начальный период и в период после того, как объем бурения достиг H метров, а также значения H позволяет найти показатель экспоненты a в уравнении (35). Затем, интегрируя его от объема бурения H до бесконечно большого объема (∞), получим оценку прироста запасов

$$Q_\infty = \int_H^\infty \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 e^{-aH} = - \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 \frac{e^{-aH}}{a} \Big|_H^\infty = \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 \frac{1}{a} e^{-aH}. \quad (36)$$

Таким образом для прогнозной оценки ресурсов необходимо иметь значения скоростей прироста запасов и совокупной глубины скважин.

Приведем два примера расчетов по сравнительно редко применяемому у нас методу геолого-экономической экстраполяции.

Пример 1. Редкометалльное рудное поле разведывается свыше 100 лет. За начальную скорость открытия могут быть приняты данные разведки 1948—1949 гг., поскольку более ранние данные отсутствуют. Скорость открытия запасов $(dQ/dH)_0 = 0,1337$ условной единицы металла на тысячу метров скважин. При разведке в 1974 г. $(dQ/dH)_H = 0,0595$ условной единицы на тысячу метров,

причем общий метраж бурения (H) к этому времени достиг 703,9 тыс. м. По формуле (34) находим, что показатель экспоненты $a = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$. Используя эти данные, по формуле (34), проинтегрированной от 0 до H , находим, что на 1974 г. запасы составляют

$$Q_H = \frac{0,1337}{1,15 \cdot 10^{-6}} (e^{-1,15 \cdot 10^{-6} \cdot 703,9 \cdot 10^3} - 1) = 69,52 \text{ усл. ед.}$$

По (35) получаем оценку прогнозных ресурсов

$$Q = \frac{0,1337}{1,15 \cdot 10^{-6}} (e^{-1,15 \cdot 10^{-6} \cdot 7,91 \cdot 10^5} - 1) = 46,81 \text{ усл. ед.}$$

Общие запасы, включая разведанные, для означенного рудного поля составляют 115 усл. ед., а прогнозные — 2/3 разведанных, причем и разведано сейчас около 2/3 общих запасов металла. Это заключение в целом совпало с мнением экспертов.

Пример 2. По одному из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана, эксплуатирующемуся более 20 лет, известны данные разведки 1962 и 1965 гг. Согласно первым, скорость открытия совокупного металла (в пересчете на свинец) составляла $(dQ/dH)_0 = 19,9$ усл. ед./м, согласно вторым — $(dQ/dH)_H = 11,59$ усл. ед./м, причем к 1965 г. пройдено 36,8 тыс. м. Показатель экспоненты

$$a = \frac{\ln \left(\frac{dQ}{dH} \right)_H - \ln \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0}{H} = 1,47 \cdot 10^{-5}.$$

Открытые запасы $Q_H = 5,65 \cdot 10^5$ Прогнозные ресурсы $Q = 7,88 \cdot 10^5$ более чем на 100 % выше открытых запасов, что не совпало с экспертными оценками, согласно которым свыше 90 % руд этого месторождения уже известны.

3.4.9. Оценка прогнозных ресурсов месторождений по ранговым рядам рудных тел

Покажем возможности применения этого метода на конкретном примере, в качестве которого выбрано одно из свинцово-цинковых месторождений. Воспользуемся графическим способом анализа в системе логарифмических координат, исходя из условия $Q \cdot N = \text{const}$ (то есть исследуем ранговый ряд по запасам рудных тел Q , построенный по их номерам N).

На оси ординат (рис. 11) отложим запасы свинца и цинка известных рудных тел в условных единицах; на оси абсцисс — номер рудных тел в их ранговом ряду, составленном по уменьшению запасов (сплошная линия). Под углом 45° до первого касания с линией реальных запасов проводится линия (прерывистая) распределения при идеальном выполнении закона Ципфа (то есть условия $Q \cdot N = \text{const}$). На рис. 11 видно, что как для свинца, так и для цинка касание линии происходит при некотором удалении от оси Y , что дает основание предполагать наличие более крупного рудного

Таблица 17

Прогнозная оценка запасов свинца и цинка по данным, приведенным на рис. 11

Условия оценки запасов	Число объектов группы	Какая часть металла разведана (тгф)	Во сколько раз возможно увеличение запасов (ctгф)
Свинец			
В общем по месторождению	35	0,700	1,43
Рудные тела:			
крупные и средние	33	0,649	1,54
мелкие	38	0,781	1,28
Цинк			
В общем по месторождению	23	0,424	2,36
Рудные тела:			
крупные	38	0,781	1,28
средние	18	0,324	3,07
мелкие	12	0,212	4,70

тела, чем разведанные в настоящее время. Площадь внутри сплошной линии — суммарные запасы месторождения, известные по результатам разведки. Площадь между сплошной и прерывистой линией — предполагаемая оценка прогнозных ресурсов месторождения. Отношение площадей — доли разведанных запасов среди общих запасов месторождения — характеризуется $тгф$. φ — угол наклона линии реальных запасов. Тогда $ctгф$ показывает, во сколько раз могут быть увеличены запасы (табл. 17). Из рис. 11 и табл. 17 следует, что увеличение запасов цинка на месторождении возможно более чем в два раза главным образом в средних (по размерам запасов) рудных телах, тогда как свинца — только на 40 %.

Другой способ подсчета суммарных запасов месторождения с помощью метода рангового ряда заключается в использовании формулы

$$Q_{\Sigma} = Q_{\max} \ln \frac{Q_{\max}}{Q_0}$$

где Q_{Σ} — общие запасы месторождения; Q_{\max} , Q_0 — соответственно запасы наибольшего и наименьшего рудного тела. Так, прогнозны ресурсы одного из редкометалльных месторождений, подсчитанные подобным способом, составили по вольфраму:

$$Q_{\Sigma} = 8,41 \frac{\ln 8,41}{0,01} = 56,63 \text{ (усл. ед.)};$$

по молибдену:

$$Q_{\Sigma} = 2,92 \ln \frac{2,92}{0,01} = 23,30 \text{ (усл. ед.)},$$

что на 1/5 превышает реальные запасы вольфрама и в 2 раза — молибдена.

Оценка прогнозных ресурсов месторождений по аналогии часто проводится не по эталонным месторождениям, а по их усредненному образу — модели — и основывается на статистических параметрах месторождений определенных формационных и геолого-промышленных типов, что рассмотрено выше.

4. КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Методика составления обзорных и мелкомасштабных карт размещения металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов категории P_3 достаточно проста. Главными элементами таких карт являются металлогенические зоны, типизированные по характеру связи оруденения со структурно-формационными комплексами различных геотектонических групп (платформенных, геосинклинальных, орогенных и др.). Контуры металлогенических зон отображают: формой штрихов — геотектоническую позицию и связь со структурно-формационными комплексами, цветом — главный тип или группу полезных ископаемых, толщиной — перспективность (категории металлогенического потенциала); в разрывах контуров указаны: порядковый номер зоны, возраст и главный тип полезного ископаемого.

Главное изобразительное средство — цвет — отдается перспективным рудоносным площадям с прогнозными ресурсами категории P_3 , которые закрашиваются цветом ожидаемого вида полезного ископаемого. Густотой окраски показывается степень перспективности прогнозируемых площадей. ВСЕГЕИ предпринята попытка разделения площадей с оцененным металлогеническим потенциалом и прогнозными ресурсами категории P_3 на три градации по степени перспективности (рис. 12). Наиболее перспективные площади с высоким металлогеническим потенциалом ($МП_1$) оконтурены толстыми штрихами, с высокими прогнозными ресурсами категории P_3 и P_3^2 покрашены густыми тонами. На обоих типах прогнозиру-

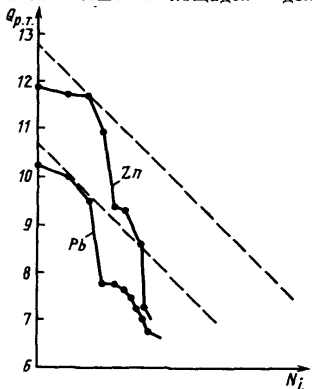


Рис. 11. Ранговый ряд запасов рудных тел свинцово-цинкового месторождения. Запасы — в условных единицах. Масштаб — логарифмический

емых площадей могут быть выявлены крупные месторождения главных геолого-промышленных типов. Площади со средним металлогеническим потенциалом ($МП_2$) оконтуриваются штрихами средней толщины, со средними прогнозными ресурсами P_2^3 красятся тонами средней густоты. Площади низкого металлогенического потенциала ($МП_3$) и с низкими прогнозными ресурсами P_3^3 могут быть реализованы в виде мелких месторождений. Первые оконтуриваются тонкими штрихами; вторые даются слабыми тонами окраски.

На карте в специальных диаграммах дается расшифровка структуры прогнозных ресурсов, целевая изученность прогнозируемых площадей на определенные полезные ископаемые и виды рекомендуемых работ (см. рис. 12).

Эти приемы картографического отображения оценки прогнозных ресурсов не являются обязательными, они могут быть дополнительно апробированы с целью накопления конкретного опыта.

При составлении обзорных прогнозных карт рекомендуется принимать металлогеническое районирование территории СССР, разработанное в комплекте карт «Металлогения СССР». Типизация месторождений полезных ископаемых производится в соответствии с классификацией геолого-промышленных типов, предложенных в других частях Руководства.

Приемы и способы картографического отображения результатов оценки прогнозных ресурсов на картах (схемах) прогноза масштаба 1:200 000 аналогичны таковым для карт прогноза масштаба 1:50 000. Они регламентированы инструкцией [4].

Прогнозные площади, соответствующие потенциальным рудным районам, узлам, полям, выделяются в основном по косвенным поисковым признакам и поисковым критериям. Обычно это имеет место при прогнозировании полезных ископаемых в малоизученных районах или на глубине (в том числе для погребенных объектов) в освоенных районах и для новых (в данном районе) или очень сложных для изучения (например, пьезокварц, самоцветы и т. п.) полезных ископаемых. Перспективные участки выделяются на основе прямых поисковых признаков и соответствуют месторождениям и проявлениям. Часто на таких участках имеются единичные пересечения тел полезного ископаемого, в которых определены их мощность и содержание полезных компонентов или качество полезного ископаемого.

Инструкция [4] предусматривает следующие способы изображения оценки прогнозных ресурсов.

Прогнозные площади и перспективные участки, в пределах которых прогнозируется выявление рудных полей, узлов, продуктивных бассейнов и их наиболее перспективных частей (прогнозные площади) или месторождений (перспективные участки), показываются сплошной черной линией, соответствующей контурам прогнозных критериев и полям распространения поисковых признаков. В пределах контура (обычно в верхней части) обозначаются категории прогнозных ресурсов (P_1 , P_2 или P_3), полезное ископаемое или полезные компоненты (в количестве не более 3) и количество

прогнозных ресурсов. Количество ресурсов указывается целыми числами в миллионах тонн, тысячах тонн и тоннах в соответствии со спецификой их измерения. Размерность количества указывается в условных обозначениях. В пределах контура могут быть показаны характеристики проявлений и тел полезных ископаемых, геохимических аномалий и других поисковых признаков, которые учитываются при оценке прогнозных ресурсов.

Если прогнозируемое месторождение связывается с проявлениями, геохимическими ореолами и потоками, геофизическими аномалиями и другими поисковыми признаками, известными в пределах участков, то вместо них в квадратной рамке приводятся характеристики тел полезного ископаемого, ореолов и т. п. (установленные или предполагаемые мощность и протяженность тел, содержание полезных компонентов, продуктивность геохимических ореолов и т. п.), являющиеся критериями количественной оценки прогнозируемого месторождения.

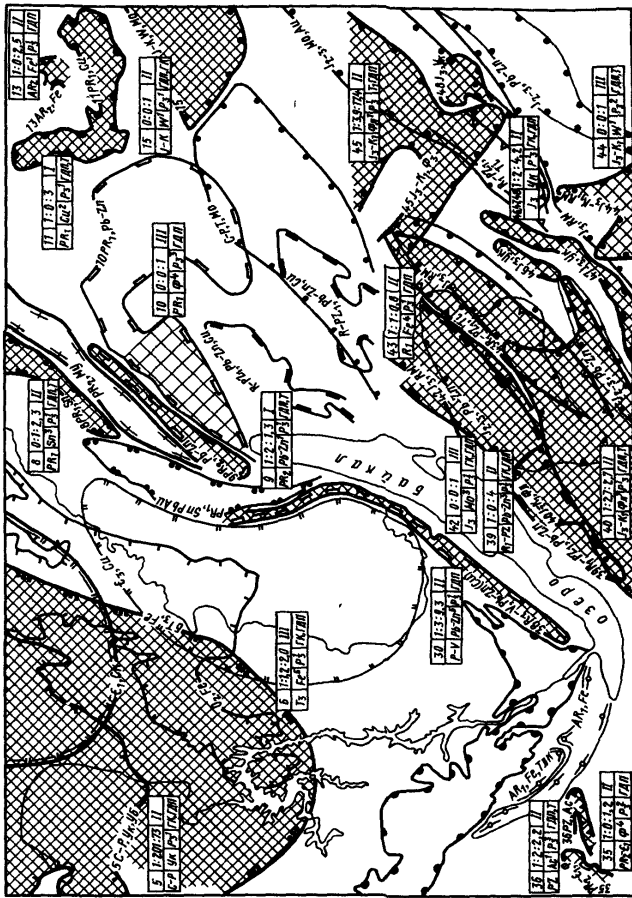
Для их изображения в [4, прил. 40] предложены типовые знаки. Размеры, формационный тип и другие характеристики ожидаемого месторождения изображаются знаком месторождения в соответствии с типовыми знаками для карт закономерностей размещения полезных ископаемых масштаба 1:50 000 [4, прил. 25–30], помещаемым на свободном месте контура перспективного участка. Общая оценка прогнозных ресурсов перспективного участка изображается цифрой ожидаемых ресурсов с указанием их категории. Она может быть больше, чем размеры ресурсов прогнозируемого месторождения, поскольку может учитывать наличие других месторождений в пределах перспективного участка.

Если прогнозируемое месторождение (месторождения) не связывается с определенными поисковыми признаками (проявлениями, ореолами, аномалиями и т. п.), известными в пределах перспективного участка, то характеристики поисковых признаков отражаются так же, как в предыдущем случае, но знак месторождения в пределах контура не выставляется. Прогнозные ресурсы ожидаемого месторождения отражаются цифрой с указанием категорий прогнозных ресурсов.

Перспективные участки, на которых прогнозируется выявление полезных ископаемых на глубине, оконтуриваются штриховой линией. Внутри контура в овальной рамке указывается глубина, до которой оцениваются прогнозные ресурсы. Все другие сведения показываются так же, как и для выходящих на поверхность месторождений. Буквенным индексом около номера площади (участка) указывается их характеристика согласно следующей градации (табл. 18).

Месторождения и проявления, для которых прогнозируется увеличение количества полезных ископаемых и дается оценка прироста, обозначаются двойными знаками месторождений. Внутренний знак соответствует известному объекту, обозначенному на карте

* См. часть 3, прил. 6 данного Руководства



Т И П Ы Ж Е Т А Л Д О Г Е Н И Ч Е С К И Х З О Н
Условные обозначения

		СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ					
		ПРОТОГЕННЫЕ	ПРО- И ПРОТОГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫЕ	ПРОТОГЕННЫЕ	ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫЕ	ОРОГЕННЫЕ И АКТИВЦИОННЫЕ	
Степень выветривания	Высокая	Базальт-доломитовые (трапозовые)	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
	Средняя	Субалевитовые карбонатные	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
Прогнозные ресурсы категории P ₃	Высокая	Субалевитовые карбонатные	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
	Средняя	Субалевитовые карбонатные	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
Металлогенный потенциал	Высокая	Субалевитовые карбонатные	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
	Средняя	Субалевитовые карбонатные	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	
		Низкая	Гранитоидные	Гранитоидные	Габброидные	Гранитоидные	

Целевая изученность	Структура прогноза ресурсов (P ₃)
Резервуарные ресурсы	Тип и-ний тивности
Возраст СФК	Степень перспективности

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

* ДП - геологическое дознание площадей, Т - тематические работы, ГГК - глубинное геологическое картирование

Рис. 12. Обзорная карта размещения металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов категории P₃.

Таблица 10

Классификация перспективности прогнозных площадей и перспективности участков

Индекс	Перспективность	Изученность	Характеристика
А	Высокая	Недостаточная	Высокоперспективный недостаточно изученный
Б	Средняя	Недостаточная	Перспективный недостаточно изученный
В	Неясная	Недостаточная	С неясными перспективами недостаточно изученный
Г	Отсутствует	Хорошая	Бесперспективный хорошо изученный (в том числе площади месторождений, на которых прирост запасов не прогнозируется)

полезных ископаемых (или на карте закономерностей размещения полезных ископаемых), внешний знак отражает размеры месторождения по оценке прогнозных ресурсов. Размеры объекта, как и на карте полезных ископаемых, изображаются размерами знака.

Участок, в пределах которого расположен прогнозируемый объект, обозначается тонкой черной линией. Вид полезного ископаемого обозначается так, как это принято для карты полезных ископаемых. Ожидаемые характеристики месторождения (морфология тел, генезис, формация и т. п.) могут отражаться по усмотрению автора в том случае, если они позволяют уточнить оценку прогнозных ресурсов.

Все прогнозируемые объекты (месторождения и рудопроявления), участки и площади нумеруются. Нумерация на каждом номенклатурном листе масштаба 1 : 50 000 независима. Для месторождений, прогнозируемых на месте нахождения известных месторождений и проявлений, сохраняется номер, присвоенный исходному объекту на карте полезных ископаемых (или карте закономерностей размещения полезных ископаемых). Перспективным участкам и прогнозным площадям, в пределах которых уже известно несколько объектов (проявлений, аномалий и т. п.), присваивается новый номер (во избежание неправильного сопоставления прогнозируемого месторождения). В случаях, когда на перспективном участке имеется несколько проявлений, показанных на карте полезных ископаемых (карте закономерностей) и имеющих последовательные (без разрывов) номера, допускается присвоение участку номера, включающего все эти номера через тире (например, участку, на котором известны проявления с номерами 45, 46, 47, 48, присваивается номер 45—48).

Нумерация прогнозных объектов и участков на каждом листе продолжает нумерацию объектов, изображенных на карте полезных ископаемых, за исключением случаев перевода объекта, зарегистрированного на ней, в более высокий ранг. Например, если на листе карты месторождения и проявления имеют номера от 1 до 27, геохимические и другие аномалии — от номера 28 до 48, то прогнозируемые объекты будут иметь номера 49 и далее.

Карта прогноза сопровождается списком прогнозируемых объектов, составляемым в соответствии с табл. 19, и сводной таблицей ко-

Таблица 19

Список прогнозных объектов (форма таблицы)

Номенклатура листа							
Индекс объекта	Вид полезного ископаемого, названное объектом	Геолого-промышленный тип	Категории прогнозных ресурсов				Рекомендуемые методы и масштабы работ
			P_1	P_2	P_3	$P_1 + P_2 + P_3$	
1	2	3	4	5	6	7	8

личества прогнозных ресурсов полезных ископаемых (прил. 5, 6).

При составлении списка прогнозируемых объектов и сводной таблицы прогнозных ресурсов полезные ископаемые перечисляются в порядке их перечисления на карте полезных ископаемых.

При подготовке материалов по оценке прогнозных ресурсов на апробацию они оформляются согласно прил. 1—7.

5. ОБЩИЙ ПОРЯДОК ОЦЕНОК, ПЕРЕОЦЕНОК, АПРОБАЦИИ И УЧЕТА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых производится по итогам каждой стадии геологоразведочных работ (геологосъемочных, общих поисков, поисков, поисково-оценочных, предварительной и детальной разведки) и соответствующих по масштабам металлогенических, прогнозно-металлогенических и прогнозных тематических и научно-исследовательских работ, с помощью которых решаются задачи предпроектного прогноза.

Очередные общий учет и оценка прогнозных ресурсов категорий P_3 , P_2 , P_1 основных твердых полезных ископаемых проводятся по состоянию на 01.01.88 (приказ Мингео СССР № 202 от 13.04.87). Оценка прогнозных ресурсов производится по новым территориям и объектам, переоценка — по территориям и объектам, на которых получены геологические данные, меняющие представление об их перспективности.

По территориям и объектам, на которых со времени предыдущих оценок не проводились какие-либо работы и представления об их перспективности остались прежними, прогнозные ресурсы и запасы считаются соответствующими принятым при последней оценке.

Размещение прогнозных площадей и объектов показывается на карте. Состояние и основные изменения в количестве, качестве и категоричности прогнозных ресурсов по сравнению с оценкой на начало 1983 г. приводятся в таблицах (прил. 3—7) и обосновываются в объяснительной записке. В записке указываются:

- прогнозируемый геолого-промышленный тип месторождений;
- фациально-формационная принадлежность пород, вмещающих скопления полезных ископаемых, и пород, с которыми пространственно и генетически связывается оруденение;
- прогнозные ресурсы полезных ископаемых и содержащихся в них основных компонентов, средние концентрации основных компонентов;
- размер площади, на которой проведена оценка;
- глубина прогноза;
- категоричность ресурсов с ее обоснованием;
- результаты геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов.

В объяснительной записке должны также найти отражение следующие вопросы:

- характеристика исходных материалов, использованных при прогнозировании;
- общие методы и частные приемы количественной оценки прогнозных ресурсов;
- геологические, геофизические, геохимические и прочие обоснования параметров прогнозных ресурсов, принятые представления о закономерностях размещения и образования месторождений полезного ископаемого;
- количественные закономерности, характеризующие зависимость масштаба и качества прогнозных ресурсов от прямых и косвенных признаков оруденения;
- принятые для геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов оценочные кондиции или исходные и расчетные данные, использованные для вычисления показателей промышленной значимости месторождений;
- ранжирование прогнозных объектов по степени их предпочтения для первоочередного проведения геологоразведочных работ следующей стадии;
- достоверность проведенной ранее оценки по итогам выполненных работ.

При оценке металло- или минерагенического потенциала приводятся сведения об ожидаемых типах месторождений с указанием отечественных или зарубежных аналогов и возможных масштабов объектов. При оценке ресурсов категории P_3 указывается вероятное число прогнозируемых объектов соответствующего геолого-промышленного типа и их масштабы. Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 , выделяемых по результатам поисковых и поисково-оценочных работ, представляется в виде расчетных таблиц (прил. 3, 4). Из общего количества прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 выделяются ресурсы в районах действующих горнодобывающих предприятий. В этом случае оценка производится с участием заинтересованных министерств.

Материалы и результаты определения прогнозных ресурсов рассматриваются на совместных научно-технических советах. Прогнозные ресурсы категорий P_3 и P_2 апробируются в региональных

научных советах Мингео СССР по прогнозированию (приказ Мингео СССР № 456 от 17.10.83). Материалы подсчета прогнозных ресурсов по категориям P_3 , P_2 и P_1 представляются производственными геологическими объединениями в головные научно-исследовательские институты по курируемым видам полезных ископаемых; по прогнозным ресурсам категории P_3 — во ВСЕГЕИ — головной институт по региональным геолого-геофизическим и геолого-сырьевым работам.

ВСЕГЕИ выполняет оценку и учет прогнозных ресурсов категории P_3 по территории страны и представляет материалы в соответствующие головные институты по видам сырья.

Головные научно-исследовательские институты рассматривают прогнозные ресурсы по соответствующим видам сырья, готовят сводки и заключения и представляют их в ВИЭМС (по благородным металлам и алмазам — в ЦНИГРИ).

ВИЭМС и ЦНИГРИ обобщают материалы по всем видам минерального сырья и представляют сводные данные в Мингео СССР, в Управление перспективного развития геологоразведочных работ, которое совместно с другими подразделениями министерства организует выборочную проверку определения прогнозных ресурсов в организациях отрасли.

Управление перспективного развития геологоразведочных работ совместно с другими управлениями министерства, ВИЭМСом и ЦНИГРИ рассматривают материалы по прогнозным ресурсам категорий P_3 , P_2 , P_1 и готовят материалы для апробации и утверждения секцией НТМ Мингео СССР «Прогнозирование и перспективы развития минерально-сырьевой базы СССР (по твердым полезным ископаемым)».

Объединение «Союзгеофонд» издает сводные данные по оценке прогнозных ресурсов по видам полезных ископаемых и территориям.

6. ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ И ПЛАНИРОВАНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Прогнозные ресурсы служат для долгосрочного и текущего планирования геологоразведочных работ в масштабах страны и отдельных регионов, а также могут использоваться при проектировании поисковых и поисково-оценочных работ. Совокупность таких работ должна обеспечивать получение прироста запасов категории S_2 , являющегося основным результатом суммы указанных стадий. Для определения рациональных путей решения этой задачи требуется: определение прогнозных ресурсов, необходимых для получения намеченных приростов; расчет эквивалентных площадей постановки работ соответствующих стадий; оценка требуемых затрат на работы соответствующих стадий.

В соответствии с принятой стадийностью геологоразведочного

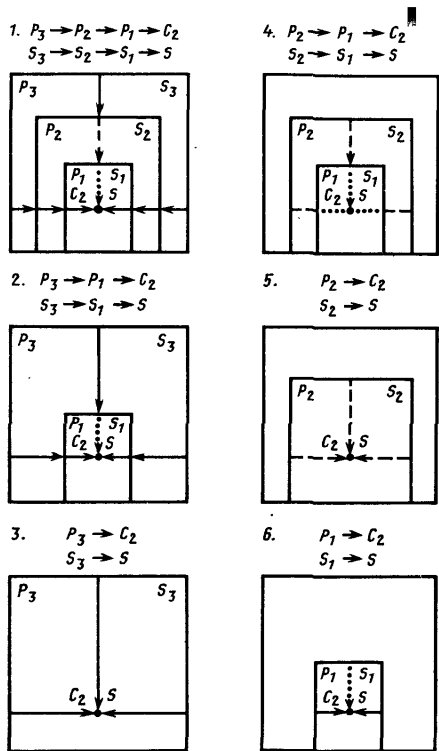


Рис. 13. Варианты перевода прогнозных ресурсов в запасы категории C_2 .

процесса для получения на той или иной слабо изученной территории необходимого прироста запасов категории C_2 требуется выполнение комплекса работ, обеспечивающих реализацию металлогенического потенциала в ресурсы категории P_3 , перевод ресурсов категории P_3 в P_2 , категории P_2 — в P_1 и, наконец, ресурсов категории P_1 — в запасы категории C_2 . Соответствующим образом от стадии к стадии меняются ранги и размеры площадей требуемых работ (рис. 13).

Представляется очевидным, что значения металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов всех категорий не эквивалентны значениям запасов категории C_2 , выявляемых на той же

площади. Это зависит от целого ряда причин как объективного, так и субъективного характера. К числу главных из них принадлежат: недостаточная достоверность оценок прогнозных ресурсов, определяемая несовершенством геологических основ прогнозирования и его вероятностным характером; рассредоточенность прогнозируемой массы металла по серии мелких объектов; превышение выявляемых масштабов объектов над предполагавшимися; несоответствие качества обнаруженных руд современным промышленным требованиям; недоступность глубин залегания месторождения для поискового и промышленного освоения; субъективные ошибки при выборе направлений работ и т. п.

Количественные расхождения между прогнозными ресурсами разных категорий и запасами категории C_2 могут быть выражены через соответствующие коэффициенты. С использованием этих коэффициентов при заданном приросте запасов категории C_2 определяются значения прогнозных ресурсов категории P_1, P_2, P_3 , необходимые для получения заданного прироста, по следующим выражениям:

$$P_1 = C_2 : K_1; \quad P_2 = P_1 : K_2; \quad P_3 = P_2 : K_3,$$

или через значение C_2 :

$$P_2 = C_2 : (K_1 \times K_2); \quad P_3 = C_2 : (K_1 \times K_2 \times K_3).$$

Прогнозные ресурсы различных категорий учитываются по соответствующим площадям, для которых применительно к конкретным геолого-промышленным типам месторождений может быть рассчитана металлоносность (продуктивность) в количестве содержания металла на единицу площади. Эта характеристика также определяется по данным известных запасов и добычи в крупных хорошо изученных регионах. Значения продуктивности рудных районов (P_3), рудных полей (P_2) и перспективных участков (P_1) существенно различаются. По ряду обобщений для ведущих геолого-промышленных типов месторождений цветных металлов отношение $P_3:P_2:P_1$ составляет примерно 1:10:100 при обратном соотношении соответствующих площадей. Примеры значений этих величин приведены в табл. 20.

Площади, требующие поискового освоения, определяются с использованием значения продуктивностей и расчетных значений прогнозных ресурсов, необходимых для получения прироста запасов категории C_2 , по соответствующим стадиям:

$$\text{общих поисков} - S_3 = P_3 : \Pi_3;$$

$$\text{поисков} - S_2 = P_2 : \Pi_2;$$

$$\text{поисково-оценочных работ} - S_1 = P_1 : \Pi_1.$$

По расчетным значениям площадей могут быть определены необходимые затраты на работы соответствующих стадий и полные затраты на получение намеченного прироста запасов категории C_2 . Для этого используются значения приведенных затрат (р/км²), определяемые для каждой стадии через затраты на работы, требуемые оптимальными прогнозно-поисково-оценочными комплексами

Значения величин, используемых при оценке прогнозных ресурсов и определении затрат на реализацию прогнозно-поисковых комплексов при поисках и оценке месторождений цветных металлов (по материалам ЦНИГРИ)

Геологические промышленные типы месторождений (в скобках наименования провинций, по которым учтены материалы)	Значения площадей разного ранга, км ² (числитель) и их среднесложность, млн т/км ² (знаменатель) в скобках — средние по экспериментальным оценкам		Коэффициенты перевода ресурсов, при переводе их из категории в категорию			
	Рудные районы — P_3	Рудные поля — P_2	Предельные участки — P_1	K_2 при P_3 в P_2	K_3 при P_2 в P_1	K_1 при P_1 в C_2
1.1. Медно-порфировый (Прибалхашская, Среднеазиатская, Чилийская, Западно-Канадская, Юго-Запада США)	200—1 200 0,005—0,025 (1000/0,010)	10—60 0,05—0,30 (50/0,050)	1—3 0,8—2,5 (1/3,0)	0,1	0,5	0,8
1.2. Медноколчеданный (Южно- и Среднеуральская)	200—600 0,003—0,010 (500/0,005)	20—60 0,02—0,10 (50/0,050)	0,5—2,5 0,3—2,2 (1/1,0)	0,2	0,5	0,8
1.3. Медистые песчаники и сланцы (Казахстанская, Кадаро-Удоканская, Западно-Африканская)	500—2 500 0,002—0,010 (1000/0,005)	50—150 0,02—0,07 (100/0,050)	5—25 0,1—0,6 (10/0,5)	0,1	0,5	0,8
2.1. Колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных толщах (Рудный Алтай)	500—1 200 0,005—0,020 (1 000/0,010)	20—60 0,025—0,15 (50/0,050)	1—6 0,5—1,2 (2/1,0)	0,2	0,5	0,8
2.2. Колчеданно-полиметаллический в терригенных толщах (Северо-Казахстанская, Кавказская, Прибайкальская)	200—2 000 0,002—0,010	10—60 0,06—0,20	1—3 0,4—0,8	0,1	0,4	0,8
2.3. Силико-цирковые в карбонатных толщах (Кордильеры, Среднеазиатская, Теннесси, Три Стенг, Миссисипи)	500—1 200 0,002—0,010 (1 000/0,005)	20—150 0,02—0,15 (50/0,050)	1—5 0,5—1,2 (2/1,0)	0,1	0,4	0,8

применительно к соответствующим геолого-промышленным типам месторождений. Затраты на общие поиски через приведенные затраты определяются как

$$Z_3 = z_3 \cdot S_3;$$

на поиски

$$Z_2 = z_2 \cdot S_2$$

на поисково-оценочные работы

$$Z_1 = z_1 \cdot S_1.$$

С учетом значений ожидаемого прироста запасов, продуктивностей и поправочных коэффициентов к ресурсам затраты по упомянутым стадиям определяются из следующих выражений: при переводе P_3 в C_2

$$Z_3 = \frac{z_3 \cdot C_2}{P_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3};$$

при переводе P_2 в C_2

$$Z_2 = \frac{z_2 \cdot C_2}{P_2 \cdot K_1 \cdot K_2};$$

при переводе P_1 в C_2

$$Z_1 = \frac{z_1 \cdot C_2}{P_1 \cdot K_1}.$$

Суммарные затраты (Z_c) на все стадии с получением намеченного прироста за счет последовательного перевода ресурсов категории P_3 в запасы категории C_2 через P_2 и P_1 рассчитываются по выражению:

$$Z_c = \frac{C_2}{K_1} \cdot \left(\frac{z_3}{P_3 \cdot K_2 \cdot K_3} + \frac{z_2}{P_2 \cdot K_2} + \frac{z_1}{P_1} \right).$$

При получении прироста запасов категории C_2 только за счет перевода ресурсов категории P_3 на цельной эквивалентной площади последовательно в P_2 , P_1 и C_2 отношения главных показателей, необходимых для планирования доразведочных стадий, определяются по выражениям:

— планируемого прироста и требуемых ресурсов

$$P_3 : P_2 : P_1 : C_2 = \frac{1}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} : \frac{1}{K_1 \cdot K_2} : \frac{1}{K_1} : 1;$$

— площадей общих поисков, поисков и поисково-оценочных работ

$$S_3 : S_2 : S_1 = \frac{1}{P_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} : \frac{1}{P_2 \cdot K_1 \cdot K_2} : \frac{1}{P_1 \cdot K_1};$$

Таблица 21

Схемы формирования структуры прогнозных ресурсов и затрат на доразведочные стадии для получения намеченных приростов запасов категории C_2

Задачи и содержание работ	Категории прогнозных ресурсов и запасов				Площади (числитель) работ доразведочных стадий и требуемые затраты (знаменатель) для реализации ресурсов в запасы и дополнительного выявления ресурсов			
	P_3	P_2	P_1	C_2	Региональные геолого-геофизические и прогнозные исследования	Общие поиски	Поиски	Поисково-оценочные работы
Расчет требуемых ресурсов для обеспечения заданного на первый период прироста запасов — C_2	P_3^1	P_2^1	P_1^1	—	—	—	—	—
Оценка состояния прогнозных ресурсов (варианты по наличию ресурсов разных категорий):								
I	P_3	—	—	—	—	—	—	—
II	$P_3 \rightarrow P_2$	—	—	—	—	—	—	—
III	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	—	—	—	—	—	—	—
Сопоставление значений требуемых и учетных ресурсов и по вариантам их реализации в C_2 :								
I	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow C_2^1$	—	—	—	—	S_3/Z_3	S_2/Z_2	S_1/Z_1
II	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow C_2^1$	—	—	—	—	—	S_2/Z_2	S_1/Z_1
III	$P_1 \rightarrow C_2^1$	—	—	—	—	—	—	S_1/Z_1
Расчет затрат на дополнительное (при необходимости) выявление прогнозных ресурсов для обеспечения заданного на второй период прироста запасов C_2''	ΔP_3	ΔP_2	ΔP_1	—	S_4/Z_4	S_3^1/Z_3^1	S_2^1/Z_2^1	—

— требуемых затрат по стадиям

$$Z_3:Z_2:Z_1 = \frac{Z_3}{P_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} : \frac{Z_2}{P_2 \cdot K_1 \cdot K_2} : \frac{Z_1}{P_1 \cdot K_1}$$

Общая последовательность операций по применению изложенной методики для предпроектных расчетов отражена в табл. 21 и сводится к следующему.

1. Расчет ресурсов категорий P_3 , P_2 и P_1 , требуемых для обеспечения намеченных приростов запасов категории C_2 на первый период планирования.
2. Оценка состояния прогнозных ресурсов.
3. Сопоставление расчетных и учетных ресурсов и выбор соответствующего варианта перевода ресурсов в запасы либо нескольких вариантов, если таковые возможны.

4. Расчет эквивалентных площадей и требуемых затрат по одному либо нескольким вариантам с учетом затрат на соответствующие стадии.

5. Определение дополнительных затрат для восполнения (в случае необходимости) прогнозных ресурсов с учетом приростов, намечаемых на второй период планирования.

6. Выбор оптимального либо наиболее экономичного варианта перевода ресурсов в запасы для проектирования работ.

В табл. 21 приведены соответствующие варианты переводов прогнозных ресурсов в запасы при условии, что на первый период планирования учетные ресурсы заведомо превышают расчетные, необходимые для получения планируемого прироста запасов категории C_2 . Представляется очевидным, что величина последних, в пределах каждой отдельно взятой площади поисков и оценки, не должна быть меньше запасов месторождения, отвечающего требованиям промышленности в соответствующих географо-экономических условиях. Исключение могут составлять близко расположенные объекты, находящиеся в сфере деятельности добывающих предприятий; однако это обстоятельство требует необходимых обоснований еще до предпроектных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи оценки прогнозных ресурсов основывается на следующих принципиально различных, но и взаимосвязанных подходах: теоретическом, эмпирическом, формально-статистическом.

Теоретический подход предполагает знание некоторых универсальных закономерностей природы. Физических, химических, термодинамических законов, которые могут быть использованы для оценки возможных количеств того или иного элемента в промышленных концентрациях в пределах блоков земной коры различного иерархического уровня. При этом обычно слабо учитывается специфика геологического строения объекта оценки, и полученные решения можно рассматривать лишь как самые общие или контрольные. Соответствующие методы применяются на планетарном, континентальном, региональном уровнях (обзорный и мелкий масштабы).

Эмпирический подход предполагает знание основных закономерностей взаимосвязи рудоносности (в качественном и количественном выражении) с геологическими особенностями оцениваемого объекта и вмещающей среды. Основным способом оценки прогнозных ресурсов является аналогия, процесс оценки в этом случае зависит от опыта, интуиции и знаний исследователя. Это относится как к качественному этапу прогнозирования (металлогеническое районирование), так и (особенно) к количественному (оценка прогнозных ресурсов). Соответствующие методы применяются при мелко-, и средне- и крупномасштабных исследованиях.

Наиболее технологичен **формально-статистический** подход, при котором решение обеих задач (выделение перспективных площадей и оценка их прогнозных ресурсов) обычно объединены в общую технологию ранжирования объектов по запасам. Подобный подход реализован в автоматизированных информационно-прогнозирующих системах (типа РЕГИОН и др.). Соответствующие методы применяются при средне- и крупномасштабных исследованиях.

Достоверность оценок прогнозных ресурсов, с одной стороны, предопределяется самим масштабом исследований, то есть степенью изученности территорий, недостаточной для однозначных оценок, с другой — сложностью таких объектов, какими являются блоки земной коры того или иного типа, а также конвергентностью геологических образований.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бугаец А. Н. Автоматизированные системы геологического прогнозирования — (Экономика минерального сырья и ГРП) Обзор/ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ — М. ВИЭМС, 1984.
- 2 Бугаец А. Н., Вострокнутов Е. П., Вострокнутова А. И. Применение экспертных систем в геологическом прогнозировании — (Мат. методы и автоматиз. системы в геологии) Обзор/ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ — М. ВИЭМС, 1986 — 59 с.
- 3 Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений — М. Недра, 1983 — 191 с.
- 4 Инструкция по организации и производству геолого-съёмочных работ и составлению Государственной геологической карты масштаба 1:50 000 (1:25 000) Утв. Мингео СССР — М., 1986 — 160 с.
- 5 Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых — М. Недра, 1982 — 10 с.
- 6 Количественная оценка прогнозных запасов и перспективных ресурсов минерального сырья при региональных металлогенических исследованиях/Под ред. Д. В. Рундквиста — Л. ВСЕГЕИ, 1978 — 176 с.
- 7 Количественное прогнозирование при региональных металлогенических исследованиях/Под ред. Д. В. Рундквиста — Л. ВСЕГЕИ, 1979 — 88 с.
- 8 Комаров В. С. Методика количественных расчетов прогнозных запасов рудных элементов по результатам региональной гидролитохимической съемки стока малых рек//Геохимические методы при прогнозировании и поисках рудных месторождений — Л. Рудгеофизика, 1982 — С. 3—7.
- 9 Константинов Р. М. Математические методы количественного прогноза рудоносности — М. Недра, 1979 — 125 с.
- 10 Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые/Под ред. Д. В. Рундквиста — 2-е изд. — Л. Недра, 1986 — 751 с.
- 11 Методические рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых/КазИМС, Сост. Г. Р. Бекжанов, А. Н. Бугаец, В. Л. Лось — Алма-Ата, 1982 — 96 с.
- 12 Методические рекомендации по количественной прогнозной оценке месторождений и рудопроявлений по их первичным и вторичным литохимическим ореолам/ИИМР Мингео УССР — Симферополь, 1979 — 123 с.
- 13 Методические указания о проведении геологоразведочных работ по стадиям (твердые полезные ископаемые) — М. ВИЭМС, 1984 — 22 с.
- 14 Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Вып. I—XII/Мингео СССР, Редкол. Волков (гл. ред.) и др. — М. — Л., 1986.
- 15 Методы количественного прогнозирования ресурсов редких металлов/В. В. Иванов, С. М. Бескин, В. М. Бондаренко и др. — М. Недра, 1985 — 244 с.
- 16 Объемное геологическое картирование редкометаллических рудных районов. Методическое пособие по геологической съемке масштаба 1:50 000/Под ред. В. К. Денисенко, Г. П. Тафеева — Вып. 8 — Л. Недра, 1981 — 304 с.
- 17 Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых/Под ред. В. Т. Показалова — М. Недра, 1984 — 437 с.
- 18 Прогнозно-металлогенические исследования при региональных геолого-съёмочных работах. Методическое пособие по геологической съемке масштаба 1:50 000 — Вып. 13 — Л. Недра, 1985 — 280 с.
- 19 Прогнозно-поисковые комплексы. Сер. брошюр ЦНИГРИ/Отв. ред. А. И. Кривцов — М. ЦНИГРИ, 1983.
- 20 Рудоносность и геологические формации структур земной коры/Под ред. Д. В. Рундквиста — Л. Недра, 1981 — 423 с.
- 21 Руководство по рациональной методике поисков месторождений медных и полиметаллических руд в вулканогенно-нитризованных поясах/А. И. Кривцов, Д. Мокану, Е. И. Филатов, Ц. Л. Петрова — М. СЭВ, 1984 — 168 с.
- 22 Руководство по рациональной методике поисков месторождений медных и полиметаллических руд в вулканогенных и карбонатных формациях/А. И. Кривцов, Е. И. Филатов, Ц. Л. Петрова — М. СЭВ, 1984 — 218 с.
- 23 Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов/А. И. Кривцов, И. З. Самонов, Е. И. Филатов — М. Недра, 1985 — 324 с.

24. Козловский Е. А., Кривцов А. И. Моделирование рудных месторождений: направления и задачи // Сов. геология, 1988. — № 3.

25. Cox D. P., Singer D. A. Eds. Mineral deposits models. // U. S. Geol. Surv. Bull., 1986. — № 1693.

Приложение I

Формационная классификация месторождений (условный пример заполнения)

Геолого-промысловый тип (ГПТ), примеры месторождений	Рудные формации (РФ), субформации (РСФ)	Генетическая группа и тип месторождения	Геологические формации, рудовмещающие (РВ), рудоносные (РН), рудогенерирующие (РТ)		Формационная принадлежность окружающих частей типов	Количественные соотношения главных рудообразующих элементов в рудах	Геоэктоническая позиция и положение РФ в тектонических зонах	Палеоэктонические (геодинамические) обстановки формирования РФ
			магматические	вулканогенные осадочные				
Скарново-магнетитовый ГПТ; Сарбайское	Магнетитовая, скаполит-альбитовая	Контактово-жестасоматическая	РГ-таборитовая, андезитовая, базальтовая с известняками	—	Скаполит-альбитовые скарны	$\text{Cu} : \text{Fe} = 1 : 500$ $\text{TiO}_2 : \text{Fe} = 1 : 100$	Фанерозойские геосинклинальные поздне-стадийные	Вулкано-тектонические пояса

Сводная таблица прогнозных ресурсов категорий P₂ и P₃ _____ (полезное ископаемое) на территории деятельности ПГО _____ по состоянию на 1.01.19__ г. (Пример заполнения)

ископаемое)

№ п/п и по карте	Союзная или автономная республика, край, область, Экономический район, Металлогеническая зона, бассейн, провинция	Площадь объектов прогноза, км ²	Принятая удельная продуктивность, т/км ² (г/км ³)	Глубина прогноза, м	Тип ожидаемых месторождений, тип их руд	Ожидаемая морфология рудных тел	Способ отработки
	РСФСР, Белгородская обл. Центральный экономический район Курская магнитная аномалия Старооскольский рудный район Лебединское рудное поле						
22	Сретенский участок						
23	Александровский участок						
24	Щигровский участок						

Среднее содержание компонентов, %	Прогнозные ресурсы категории P ₂ , млн т			всего ресурсов категории P	Прогнозные ресурсы категории P ₃ , млн т		всего ресурсов категории P ₃
	по результатам				по результатам		
	поисковых работ	общих поисков и геологической съемки М 1:50 000	геологической съемки М 1:200 000		геологической съемки М 1:200 000	прогнозно-металлогенических исследований	

Приложение 7
 Результативность работ по стадиям и подтвержденность оценки прогнозных ресурсов по _____ (полезное ископаемое)
 на территории деятельности ПГО _____ за 19__ г. — 19__ г.

№ п/п	Стадия работ на котором выделен полезного промывальными или месторождения	Количество объектов				Размерная точность, % гр. 5+6 гр. 4	Подтвержденность ресурсов* категория	
		всего	оценено работами		в том числе			
			исчислено на следующую стадию	перешло на следующую стадию				числено в резерв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Геологическая съемка М 1:200 000						P_2/P_3	
2	Геологическая съемка М 1:50 000 с общими поисками						$(P_1+P_2)/P_2$	
3	Поисковые работы						$(C_2+P_1)/(P_1+P_2)$	
4	Поисково оценочные работы						$(C_1+C_2)/(C_2+P_1)$	
5	Предварительная разведка						C_2/P_1	
6	Детальная разведка							

* Подтвержденность прогнозных ресурсов по каждой стадии определяется отношением суммы ресурсов и запасов к началу работ по оцененным объектам (гр. 5+6) к сумме ресурсов и запасов всех оцениваемых объектов (гр. 4) до начала работ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Научно-методические основы прогнозирования и оценки прогнозных ресурсов	6
2 Стадийность геологоразведочного процесса, объекты прогнозирования и категоризация прогнозных ресурсов	35
2.1 Прогнозирование ресурсов полезных ископаемых на стадии регионально геологического изучения территории СССР	45
2.2 Прогнозирование ресурсов полезных ископаемых на стадии геолого съемочных работ масштаба 1:50 000 (1:25 000) с общими поисками	46
2.3 Прогнозирование ресурсов полезных ископаемых на стадии поисковых работ	48
2.4 Прогнозирование ресурсов полезных ископаемых на стадии поисково оценочных работ	49
2.5 Прогнозирование ресурсов полезных ископаемых на стадиях предварительной и детальной разведки	51
3 Методы оценки прогнозных ресурсов	62
3.1 Методы оценки металлогенического потенциала металлогенических провинций	68
3.2 Методы оценки металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов металлогенических зон по результатам региональных геолого геофизических исследований масштаба 1:1 000 000—1:500 000	77
3.3 Методы оценки прогнозных ресурсов рудных районов по результатам региональных работ масштаба 1:200 000	91
3.4 Методы оценки прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений по результатам геолого съемочных работ масштаба 1:50 000 с общими поисками	112
4 Картографическое отображение результатов оценки прогнозных ресурсов	157
5. Общий порядок оценок, переоценок, апробации и учета прогнозных ресурсов	163
6. Прогнозные ресурсы и планирование геологоразведочных работ	165
Заключение	172
Литература	173
Приложения	175