

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского» (ВСЕГЕИ)

**FOR PUBLIC
RELEASE**

«Утверждаю»
Заместитель Министра природных
ресурсов

« _ » _____ 2002 г.

РАБОЧИЙ ВАРИАНТ!

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
по оценке и учету прогнозных ресурсов
металлических и неметаллических полезных ископаемых**

Часть 1

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

3-е издание, переработанное

Библиотека Морина А.О.

Санкт-Петербург
2002

FOR COMMENT

AS IS

УДК 553.042:001.8

Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – 3-е изд., исправленное и дополненное. – М.-Л., 2002.

Часть I: Принципы и методы оценки / Сост.: И.А. Неженский, Ю.В. Богданов, С.И. Крассоткин, В.Н. Кудряшов, К.А. Марков, Е.В. Плющев, В.П. Феокистов, В.В. Шатов. ...с., табл.29, ил. 11, список лит.64 назв.

Изложены научно-методические основы оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Приведена система единиц учета количества минерального сырья в недрах, увязанная со стадийностью ГРП и объектами оценки. Рассматриваются вопросы металлогенического районирования и типизации рудоносных объектов, а также проблема создания их моделей. Дается обзор методов оценки прогнозных ресурсов, в том числе ограниченно используемых, но перспективных. Рассмотрены особенности использования и рационального комплексирования методов оценки применительно к рудоносным объектам различного иерархического уровня. Приведен порядок оценки, апробации и учета прогнозных ресурсов. Предложена методика стоимостной оценки запасов и прогнозных ресурсов.

Редакционная коллегия

Главный редактор В.В.Караганов

Члены редакционной коллегии: Н.М. Аксенов, Н.Н. Ведерников, И.Ф. Мигачев, А.И. Кривцов, О.В.Петрова, В.В.Шатов, В.П. Феокистов, В.Т. Покалов, Г.А. Машковцев, А.А. Кременецкий, А.А. Головин, В.В. Алискеров, М.А. Комаров, Б.К. Михайлов, А.Ф. Морозов

Ответственные редакторы части 1 В.В.Шатов, В.П.Феокистов

Библиотека Морина А.О.

© ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского» (ВСЕГЕИ), 2002

© МПР РФ, 2002

СПИСОК ТАБЛИЦ

1. Этапы и стадии ГРР
2. Система единиц учета количества минерального сырья в недрах
3. Генезис коренных полезных ископаемых
4. Основные рудоносные и потенциально-рудоносные объекты, показанные на металлогенических и прогнозных картах
5. Параметры металлогенических объектов
6. Типы металлогенических зон
7. Обстановки локализации рудных районов со стратиформным оруденением (рудоносные суббассейны)
8. Последовательность межстадийного и сопутствующего (по отношению к ГРР) металлогенического анализа
9. Классификация месторождений металлических полезных ископаемых по запасам
10. Основные методы оценки прогнозных ресурсов
11. Значение удельных рудоносностей СМЗ для некоторых типов рудных формаций в типовых геологических обстановках
12. Количественные модели основных геолого-промышленных типов
13. Линейная корреляция содержаний свинца, цинка и кадмия в рудах месторождения Акажал
14. Эталонные ранжированные ряды химических элементов
15. Условный пример расчета металлогенических ресурсов вольфрама
16. Прогнозная оценка запасов свинца и цинка
17. Коэффициенты корреляции и линейного уравнения регрессии для некоторых металлов
18. Комплексирование методов оценки прогнозных ресурсов
19. Примерный перечень технико-экономических показателей оценки месторождений
20. Структура стоимости конечного минерального продукта
21. Доля в стоимости конечного продукта, приходящаяся на прогнозные ресурсы и запасы некоторых видов минерального сырья
22. Градация месторождений полезных ископаемых по размерам
23. Усредненные вероятностные значения коэффициентов приведения прогнозных ресурсов и предварительно оцененных запасов к запасам промышленных категорий
24. Общие коэффициенты извлечения для некоторых видов твердых полезных ископаемых
25. Состав и структура Банка данных прогнозных объектов
26. Основные характеристики прогнозного объекта
27. Источник информации об объекте
28. Характеристика полезного ископаемого
29. Координаты объекта

СПИСОК РИСУНКОВ

1. Зависимость удельной рудоносности от ранга металлогенических подразделений
2. Схема оценки потенциальной рудоносности площадей
3. Схема оценки прогнозных ресурсов с помощью последовательного приближения вероятностей и детерминированной модели рудных объектов
4. Расчетная схема для оценки прогнозных ресурсов редкометального оруденения грейзеновой формации
5. График-диаграмма оценки оловянного оруденения
6. Результаты количественной оценки одного из оловорудных месторождений Приморья
7. Структура запасов золоторудных проявлений
8. Ранговый ряд запасов рудных тел свинцово-цинкового месторождения
9. Схема, иллюстрирующая геометрические закономерности распределения рудных объектов Северного Прибалхашья
10. Схема, иллюстрирующая геометрические закономерности распределения рудных объектов Байназарского рудного района
11. Схема количественной изменчивости эндогенного магнетитового оруденения восточного склона Кузнецкого Алатау в изолиниях

СПИСОК ПРИЛОЖЕНИЙ

1. Перечень твердых полезных ископаемых, по которым проводится количественная оценка и учет прогнозных ресурсов по состоянию на 01.01.2003 г.
2. Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов
3. Сводная таблица прогнозных ресурсов по распределенному фонду недр
4. Сводная таблица прогнозных ресурсов по нераспределенному фонду недр



ОГЛАВЛЕНИЕ

- Введение.
- Система единиц учета количества минерального сырья в недрах и стадийность геологоразведочных работ.
- Металлогеническое районирование и необходимые определения.
- Модели объектов оценки прогнозных ресурсов
- Научные основы (принципы) оценки прогнозных ресурсов
- Методы оценки прогнозных ресурсов
- Оценка прогнозных ресурсов рудоносных объектов различного иерархического уровня. Комплексирование методов оценки
- Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов
- Стоимостная оценка минерального сырья в недрах
- ГИС – технологии организации, хранения и выдачи информации о прогнозных ресурсах
- Порядок оценки, апробации и учета прогнозных ресурсов.
- Заключение
- Литература
- Приложения

Библиотека Морина А.О.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время количественная оценка прогнозных ресурсов минерального сырья является необходимым элементом конечных результатов всех стадий геологоразведочных работ. Обязательная оценка прогнозных ресурсов закреплена законодательными актами Правительства, инструктивными документами и приказами МПР РФ. Она производится раз в пять лет и для твердых полезных ископаемых (см. перечень в приложении 3) проводилась по состоянию на 01.01.1983, 1988, 1993, 1998г.г. и в очередной раз должна быть осуществлена по состоянию на 01.01.2003г. Начиная с 2004г. предполагается проводить ежегодную оперативную оценку прогнозных ресурсов РФ по состоянию на 01.01. текущего года с последующим изданием балансов изменения состояния прогнозных ресурсов по видам полезных ископаемых и их технико-экономическим анализом.

Вопрос о систематической оценке прогнозных ресурсов для твердых полезных ископаемых в нашей стране был поставлен только в 70-х годах, в то время как для углеводородного сырья она уже проводилась. Это потребовало теоретического и методологического обеспечения соответствующих работ. Решение проблемы оценки прогнозных ресурсов (количественного прогнозирования) осуществлялось по нескольким направлениям. Основные из них следующие: теоретическое (регионально-геохимическое), эмпирическое (металлогеническое), математическое (в основном, статистическое), по геохимическим и геофизическим аномалиям, геолого-экономическое и др.

Теоретически возможные ресурсы полезного компонента в земной коре в целом, в континентальном, провинциальном масштабах определялись, исходя их моделей геохимического цикла миграции элемента, энергии рудообразования и т.п., т.е. учитывая ту часть от общей массы элемента в земной коре, которая может достичь промышленных концентраций и образовать месторождения полезных ископаемых (Shimazu, 1965; Page, Creasy, 1975; Lerman, Mac Kenzie, Garrels, 1975; Сафронов, Мещеряков, Иванов, 1978; Булкин, 1984; Булкин, Неженский, 1991; и др.). Большое практическое значение имели оценки прогнозных ресурсов на основе эмпирических зависимостей между характеристиками рассеяния и концентрации элементов в общемировом и региональном масштабах (Mc Kelvey, 1960; Овчинников, 1971; Квятковский, Новиков, 1974; Erickson, 1973; Никитин, 1978; Иванов, Панфилов, 1979; Овчинников, Лутков, 1982; Булкин, 1984; Неженский, 1997; и др.).

Металлогеническое направление оценки прогнозных ресурсов развивается на основе выявления взаимосвязей масштабов проявления рудоносности с историей развития геологических структур, главным образом путем структурно-формационного анализа. В основе оценок по аналогии лежат металлогенические модели геологических обстановок (типовые обстановки) с количественной характеристикой рудоносности. Работы по научному и методическому обоснованию оценки прогнозных ресурсов территорий в рамках этого направления проводились главным образом в нашей стране, во ВСЕГЕИ и ВИЭМС. а применительно к конкретным видам минерального сырья – в отраслевых институтах – ЦНИГРИ, ВИМС, ИМГРЭ, ВНИГРИУголь, ВНИИГеолнеруд и в некоторых институтах бывших союзных республик – КазИМС, САИГИМС и др.

Статистическое направление ориентируется на автоматизированную обработку исходного материала на основе существующих или создаваемых информационных баз, позволяющих установить статистические связи масштабов рудоносности с параметрическими характеристиками вмещающей среды. В рамках именно этого направления велись исследования и осуществлялись формализация и автоматизация процесса металлогенического анализа и количественного прогнозирования оруденения. Модельное сходство сопоставляемых территорий выявлялось в процессе обработки информации, т.е. на количественном уровне. Работы в этом направлении форсированно начали проводиться сначала за рубежом (Ф.П.Агтерберг, А.Г.Фабри, Дж. Гриффитс, Д.Р.Дерри, Д.А.Зингер, Д.Л.Мозер и др.), затем,

особенно в 70-80-х годах, в СССР (А.П.Куклин, А.Н.Бугаец, Л.Н.Дуденко, Р.М.Константинов, В.В.Марченко и др.). КазИМСом составлены методические рекомендации по подготовке и математической обработке информации с целью получения количественной оценки рудоносных объектов (1982).

Оценка прогнозных ресурсов обычно обширных территорий путем сложно организованных экспертиз с последующей обработкой результатов опроса пока более широко проводится за рубежом (работы Н.Томсена, Д.А.Уайта, Р.В.Гаррета и др.).

Геохимические методы оценки прогнозных ресурсов при средне- и крупномасштабных исследованиях развивались почти исключительно в нашей стране (работы А.П.Соловова, Н.И.Сафронова и др.).

К экономическому направлению в оценке прогнозных ресурсов относятся проводящиеся в большей мере за рубежом работы по геолого-экономической экстраполяции темпов прироста запасов и ресурсов в зависимости от продолжительности освоения объектов оценки, вкладываемых средств, объема горных и буровых работ. Соответствующие методы пока более широко применяются при оценке нефтегазоносности (Zapp A.D., 1962; Hubbert M.K., 196.; Moore C.L., 1971; Модылевский М.С., 1978, и др.), в меньшей мере – при оценке ресурсов металлов (Cargill S.M., Root D.H., Bailey E.H., 1980; Булкин Г.А., Неженский И.А., 1983)

В рамках экономического и геохимического направлений можно рассматривать работы по оценке прогнозных ресурсов на основе анализа распределения содержаний металлов в рудах, рудных масс в земной коре (Lasky S.G., 1950; Agterberg F.P., Divi S.R., 1978, Drew M.W., 1979; Булкин Г.А., 1982, и др.).

Экономическому направлению относится и проблема оценки комплексной минерализации, проблема сопоставления значимости территорий с различными видами минерального сырья. В зарубежных работах эти вопросы решаются главным образом путем нахождения суммарных и удельных стоимостных оценок (Blondel F., Ventura M., 1954 ; 1956; Blondel F., Callot., 1961.; Griffiths J. C., 1966-1969г.г.; Labovits M.Z., 1976; Mensie W.D., 1976; Watson N., 1977, и др.). Для оценки прогнозных ресурсов может быть использована устанавливаемая положительная корреляция между общей региональной стоимостью добытого минерального сырья и геологической сложностью строения территорий (Богацкий В.В., Суганов Н.И., 1968).

Прогнозные ресурсы требуют также геолого-экономической оценки. Ее цель состоит в определении экономической целесообразности их учета, исходя из текущего и перспективного спроса, действующей или осваиваемой технологии добычи и переработки руды и т.п.

Данная работа является третьим, переработанным и дополненным изданием «Методического руководства по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (1-е издание – выпуски I-III, 1986 г.; 2-е издание - часть I, 1989г.). Дополнительные рекомендации, учитывающие особенности оценки прогнозных ресурсов определенных видов сырья, приводятся в специальных частях, прототипами которых являются выпуски IV-XV 1986 г. и II-VI 1989 г. 3-е издание отличается от предыдущих более тщательным редактированием текста, более логичной компоновкой разделов, по возможности устранением повторов, более современной трактовкой некоторых проблем (например, типизация металлогенических зон), введением дополнительных разделов (стоимостная оценка запасов и прогнозных ресурсов, ГИС-технологии организации, хранения и выдачи информации о прогнозных ресурсах). Подготовка издания приурочена к предстоящей оценке прогнозных ресурсов по состоянию на 01.01.2003 г.

Работа подготовлена во ВСЕГЕИ с учетом материалов и рекомендаций ВИЭМС (проект «Методических указаний по оценке, апробации и учету прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых по состоянию на 01.01.2003 г. и в последующие годы», М., 2002

и др.) и головных отраслевых институтов. В ней предлагается полная система единиц учета количества минерального сырья в недрах, увязанная со стадийностью ГРР и объектами оценки прогнозных ресурсов, рассматривается металлогеническое районирование и типизация рудоносных объектов, обсуждаются научные и методические основы оценки прогнозных ресурсов и достаточно детально характеризуются методы оценки и вопросы их комплексирования. Как уже указывалось, по сравнению с предыдущими изданиями приведена типизация металлогенических подразделений с учетом современных разработок ВСЕГЕИ, Г.С. Гусева, М.В. Межеловского, Е.В. Плющева и др., дополнительно предлагается методика экспрессной стоимостной оценки минерального сырья в недрах, даются рекомендации по ГИС-технологии организации, хранения и выдачи информации о прогнозных ресурсах.

СИСТЕМА ЕДИНИЦ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В НЕДРАХ И СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Оценка минерально-сырьевых ресурсов рудоносных объектов различного ранга, любые действия по их развитию тесно сопряжены с принимаемыми единицами их учета и стадийностью геологоразведочных работ. На этот счет существуют инструктивные документы МПР РФ. Главные из них – Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (1997) и Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (1999). В Классификации прогнозные ресурсы подразделены на категории P_3 , P_2 , P_1 , запасы – на категории C_2 , C_1 , В, А. Поскольку Руководство посвящено оценке прогнозных ресурсов, ниже приводится только их характеристика.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных магматических, стратиграфических, литологических, тектонических, палеогеографических предпосылок и поисковых признаков, выявленных в оцениваемом районе при средне- и мелкомасштабном региональном геологическом и прогнозно-металлогеническом изучении недр, дешифрировании дистанционных материалов, анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Количественная оценка ресурсов этой категории производится для площадных объектов по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными районами, площадями, бассейнами, где имеются разведанные месторождения того же генетического и геолого-промышленного типов. Для оценки ресурсов категории P_3 прямые экономические расчеты, как правило, не применяются.

Прогнозные ресурсы категории P_2 характеризуют локальные перспективные объекты и учитывают возможность обнаружения в рудном узле, поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной геологической съемке и прогнозно-поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлена единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основываются на аналогиях с известными месторождениями того же геолого-промышленного типа. Прогнозные ресурсы оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровне техники и технологии разработки месторождений. Возможное изме-

нение параметров кондиций по сравнению с аналогичными месторождениями должно иметь соответствующее обоснование.

Прогнозные ресурсы категории P_1 подсчитываются для локальных перспективных объектов и учитывают возможность выявления новых рудных тел полезного ископаемого на рудопроявлениях, разведанных и разведываемых месторождениях, а также продолжение рудных тел за контуры подсчета запасов по категории C_2 . Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел.

Оценка ресурсов основывается на результатах поисково-оценочных работ, геологических, геофизических и геохимических исследований площадей возможного нахождения полезного ископаемого, подтвержденных одиночными структурными и поисковыми скважинами, вскрывших рудные тела и минерализованные зоны, и геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной части месторождений и определяющих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес. Комплексом полученных данных обосновывается принадлежность к определенному геолого-промышленному типу и технологические свойства полезного ископаемого. Ресурсы категории P_1 служат обоснованием для выбора объектов под разведку и для пообъектного планирования прироста запасов категории C_2 .

Кроме единиц учета количества прогнозных ресурсов категорий P_3 , P_2 , P_1 минерального сырья в недрах, имеющийся в Классификации... (1997), для характеристики общих перспектив металлогенических зон нередко употребляется понятие «металлогенический потенциал» или металлогенические ресурсы. Последние могут определяться и на полуколичественном (высокие, средние, низкие) уровне по самым общим особенностям состава и строения крупных геологических структур, недостаточно изученных для оценки прогнозных ресурсов категории P_3 , но соответствующих современным технологическим требованиям и условиям отработки.

В целом, в полный ряд единиц учета минерального сырья входят следующие «простые» составляющие: металлогенические ресурсы – прогнозные ресурсы категорий P_3 , P_2 , P_1 - запасы категорий $C_2 - C_1 - B - A$ - отработанные запасы. Но помимо этого ряда «простых» единиц учета в обращении появилось много «составных» понятий, включающих в себя ту или иную группу простых единиц. Их толкование неоднозначно. Так, под минерально-сырьевой базой часто понимают запасы и прогнозные ресурсы, в сумме составляющие базу функционирования и развития горнодобывающих предприятий, промышленности, экономики. В такой трактовке существует несколько синонимичных понятий. Поэтому предлагается в полной системе единиц учета понимать под минерально-сырьевой базой лишь запасы полезных ископаемых, доступные для разработки в настоящее время. А для совокупности запасов и прогнозных ресурсов существуют такие понятия, как текущий минерально-сырьевой потенциал, ресурсный потенциал.

Если к текущему минерально-сырьевому потенциалу прибавляются металлогенические ресурсы, то получается общий минерально-сырьевой, или металлогенический потенциал.

Если к общему минерально-сырьевому потенциалу присовокупить отработанные запасы, то получим природный (начальный) минерально-сырьевой потенциал. Это тот потенциал, которым изначально обладали земные недра (на изученные или учтенные глубины).

В стадийности геологоразведочных работ реализован принцип последовательного приближения, что обеспечивает их рациональное и экономически целесообразное выполнение. Разделение геологоразведочного процесса на этапы и 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. 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 соответствие между геологическими объектами, пространственными металлогеническими подразделениями, прогнозными ресурсами и запасами.

Цели геологоразведочных работ и прогнозных оценок на каждой стадии (табл. 1) заключаются в следующем:

- на стадии регионального геологического изучения недр и прогнозирования полезных ископаемых – создание фундаментальной многоцелевой основы прогнозирования полезных ископаемых; комплексная оценка металлогенических ресурсов изученных территорий с выделением перспективных рудных районов, узлов, зон и бассейнов; прогнозная оценка ресурсов по категориям P_3 и P_2 .
- на стадии поисковых работ – комплексная оценка перспектив исследованных площадей, выявленных проявлений и месторождений полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P_2 и P_1 ; оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей; обоснование целесообразности и очередности дальнейших работ.
- на стадии оценочных работ в результате изучения проявлений и месторождений полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_2 и P_1 производится их геолого-экономическая оценка. Дается оценка запасов месторождений полезных ископаемых по категориям C_2 и C_1 ; по менее изученным участкам - прогнозных ресурсов категории P_1 . Технико-экономически обосновываются временные кондиции и промышленная ценность месторождений.
- на стадии разведки месторождения подсчитываются запасы по категориям: А, В, C_1 и C_2 .

Таблица №1

Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые)

Этап, стадия	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
1	2	3	4
<p>Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения.</p> <p>Стадия I. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.</p>	<p>Территория Российской Федерации, её крупные геологоструктурные, административные, экономические, горнорудные и нефтегазоносные регионы, шельф и исключительная экономическая зона, глубинные части земной коры, районы с напряженной экологической обстановкой, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных работ и др.</p>	<p>Создание фундаментальной многоцелевой Геологической основы прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение различных отраслей промышленности и сельского хозяйства систематизированной геологической информацией для решения вопросов в области геологоразведочных работ, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и т.п.</p>	<p>Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1:1 000 000, 1:200 000 и 1:50 000, сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1:1 500 000 и мельче, комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр Российской Федерации и ее регионов; комплексная оценка металлогенического потенциала изученных территорий с выделением перспективных рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий P₃ и P₂; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения.</p>
<p>Этап II. Поиски и оценка месторождений</p> <p>Стадия 2. Поисковые работы</p> <p>Стадия 3. Оценочные работы</p>	<p>Бассейны, рудные районы, узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категорий P₃ и P₂.</p> <p>Проявления и месторождения полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P₂ и P₁.</p>	<p>Геологическое изучение территории поисков; выявление проявлений и месторождений полезных ископаемых; определение целесообразности их дальнейшего изучения.</p> <p>Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; отработка проявлений, не представляющих промышленной ценности.</p>	<p>Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследованных площадей и месторождений полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P₂ и P₁; оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей; обоснование целесообразности и очередности дальнейших работ. Месторождения полезных ископаемых с оценкой их запасов по категориям C₂ и C₁, а по менее изученным участкам прогнозных ресурсов категории P₁; технико-экономическое обоснование промышленной ценности месторождения.</p>
<p>Этап III. Разведка и освоение месторождений.</p> <p>Стадия 4. Разведка месторождения.</p> <p>Стадия 5. Эксплуатационная разведка.</p>	<p>Месторождения полезного ископаемого с оцененными запасами по категориям C₂ и C₁ и прогнозными ресурсами категории P₁.</p> <p>Эксплуатационные этажи, горизонты, блоки, уступы, подготавливаемые для очистных работ.</p>	<p>Изучение геологического строения, технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологических условий отработки месторождения; технико-экономическое обоснование освоения месторождения; уточнение геологического строения месторождения в процессе освоения на недостаточно изученных участках (фланги, глубокие горизонты) с переводом запасов из низших в более высокие категории.</p> <p>Уточнение полученных при разведке данных для оперативного планирования добычи, контроль за полнотой и качеством отработки запасов.</p>	<p>Геологические, гидрогеологические, горно-геологические, технологические и другие данные, необходимые для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) освоения месторождения; подсчитанные запасы по категориям A, B, C₁ и C₂.</p> <p>Запасы подготовленных и готовых к выемке блоков; исходные материалы для оценки полноты отработки месторождения, уточнение потерь и разубоживания полезного ископаемого.</p>

- на стадии эксплуатационной разведки подсчитываются запасы подготовленных и готовых к выемке блоков.

Последовательное проведение всех стадий ГРР не является обязательным. Прогнозно-поисковые работы часто позволяют значительно ускорить оценку перспективных площадей. Так, при геологической съемке масштаба 1:200 000 могут оцениваться не только прогнозные ресурсы рудных районов по категории P_3 , но и, в случае выявления, рудные поля и рудопроявления с оценкой ресурсов по категории P_2 , при геологической съемке масштаба 1:50 000 могут оцениваться ресурсы не только категории P_2 , но и P_1 и т.п.

Взаимосвязь единиц учета количества минерального сырья в недрах, стадий ГРР и объектов оценки прогнозных ресурсов и запасов приведена в табл. 2 .

Таблица 2

СИСТЕМА ЕДИНИЦ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В НЕДРАХ

Стадии ГРР	Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых			Поисковые работы	Оценочные работы	Разведка м-й предв. дет.	Эксплуатационная разведка	Добыча
Масштаб исследований	1:500 000 и мельче	1:200 000	1:50 000	1:50 000 – 1:25 000 и крупнее	1:10 000 и крупнее	1:5 000 и крупнее	1:1 000 и крупнее	
Объекты оценки	Структурно-металлогенические зоны	Рудные районы, зоны, узлы	Рудные поля, ГХ и ГФ аномалии	Перспективные участки	Рудопроявления	Месторождения	Участки, блоки м-ний	Эксплуатационные блоки м-ний
Простые единицы учета минерального сырья	Металлогенические ресурсы	Прогнозные ресурсы			Запасы			Отработанные (погашенные) запасы
		P ₃	P ₂	P ₂ , P ₁	P ₁ , C ₂	C ₂ , C ₁ , B, A	C ₁ , B, A	
Составные единицы учета минерального сырья						Минерально-сырьевая база*		
		Минерально-сырьевые ресурсы (текущий (учтенный) минерально-сырьевой потенциал, ресурсный потенциал)						
		Общий минерально-сырьевой потенциал						
		Природный (начальный) минерально-сырьевой потенциал, металлогенический потенциал						

* В широком смысле минерально-сырьевая база понимается как синоним ресурсного потенциала

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И НЕОБХОДИМЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основными задачами прогнозных исследований являются:

1. Выявление тех частей геологического пространства, в пределах которых возможно обнаружение практически интересных скоплений минерального сырья, определение генетических, формационных, геолого-промышленных типов, минеральных месторождений.
2. Выделение перспективных площадей, участков наиболее вероятного положения прогнозируемых рудных полей и месторождений.
3. Количественная и геолого-экономическая оценка выявленных перспективных объектов.

Выделение перспективных площадей по геологической ситуации, основанное на установленной объективной приуроченности определенных типов месторождений к определенным геологическим обстановкам составляет суть прогнозно-металлогенических исследований, интенсивно развивающихся в России в ходе нескольких последних десятилетий.

Основным инструментом прогнозных исследований является формационный (рудно-формационный) анализ, использование которого позволяет устанавливать естественные закономерные связи различных типов оруденения с определенными геологическими формациями (комплексами), возникшие в результате проявления тех или иных рудообразующих процессов. Использование этих данных позволяет решить и обратную задачу – выделение перспективных (потенциально рудоносных) объектов по наличию соответствующих геологических формаций и признаков их рудоносности.

Главными понятиями формационного анализа являются определения геологической и рудной формации, базирующиеся на основных положениях структурно-вещественного подхода. Соответственно, под рудной формацией понимается группа месторождений или рудопроявлений, однотипных по элементному минеральному составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется связью с 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.

Рудная формация принимается в качестве основной классификационной единицы при мелко- и среднemasштабных прогнозно-металлогенических исследованиях. Рудная формация может разделяться на субформации и (или) минеральные типы с учетом особенностей вещественного состава и геохимических характеристик, имеющих количественное выражение.

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., а также горно-геологические условия отработки.

При прочих равных условиях геолого-промышленные классификации месторождений учитывают требования, предъявляемые к результатам работ оценочной и разведочной стадий, а также к качеству минерального сырья. Формационные классификации более близки целям прогноза и поисков.

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).

В основу расшифровки рассматриваемых пространственно временных соотношений положены представления о генетической классификации оруденения. Наиболее распространенной является генетическая классификация месторождений В.И. Смирнова. В последнее десятилетие рассматриваемая схема была дополнена на основе представлений о роли тех или иных формационных комплексов в рудообразовании, а также существенного уточнения механизма самого процесса рудогенеза. В частности наряду с традиционными ортомагматическими (плутоническо-гидротермальными и вулканогенно-термальными) моделями была предложена гидротермально-рециклинговая (конвективная) гипотеза рудообразования, разработанная для медно-молибденовых порфировых колчеданных и других объектов. Применительно к экзогенным рудообразующим системам широкое распространение получила седиментогенно-гидрогенная модель, включающая осадочно-диагенетические процессы и пластовую инфильтрацию, разработанная на примерах стратиформных месторождений медистых песчаников и сланцев, а также, так называемых, роловых месторождений урана и др. (табл.3). В последние годы повышенное внимание уделяется процессам регенерации в рудогенезе и образующимся в этих условиях полигенно-полихромным месторождениям (метоморфогенно-гидротермальная гипотеза) и др.

В соответствии с взглядами Д.В. Рундквиста (1986) и А.И. Кривцова (1989) выделяются следующие типы геологических формаций в зависимости от их роли в рудообразовании:

Рудовмещающая – комплекс пород, образующий среду рудоотложения, которая связана 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.

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 рудовмещающих геологических образований с определением их принадлежности к тому или иному режиму развития.

Генезис коренных полезных ископаемых

Тип	Класс
Магматический	Ликвационный Раннемагматический Позднемагматический
Пегматитовый	Простые пегматиты Перекрис таллизованные пегматиты Метасоматически замещенные пегматиты
Карбонатитовый	Магматический Метасоматический Комбинированный
Скарновый (контактово- метасоматический)	Известковистых скарнов Магнезиальных скарнов Силикатных скарнов
Альбитит-грейзеновый	Альбититовый Грейзеновый
Гидротермальный	Плутоногенный Вулканогенный Телетермальный Стратиформный
Колчеданный	Метасоматический Вулканогенно-осадочный Комбинированный
Выветривания	Остаточный Инфильтрационный
Осадочный	Механический Химический Биохимический Вулканогенный
Метаморфизованный	Региональный Контактовый
Метаморфический	

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

Конкретизация роли рудовмещающей среды с оценкой ее принадлежности к рудоносным либо к рудовмещающим формациям и определение возможных рудогенерирующих и (или) рудообразующих формаций.

Обоснование принадлежности рудных скоплений к определенной геологической формации либо к соответствующему сочетанию геологической формации.

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.

Проблема количественного прогнозирования – определение размеров рудных скоплений в пределах выделенных перспективных площадей (тесно связана с вопросами металлогенического районирования, поскольку прогнозные ресурсы, как правило, подсчитываются для тех или иных пространственных геологических тел или блоков земной коры различной размерности. С одной стороны, подобные площади (или точнее блоки) могут непосредственно соответствовать отдельным металлогеническим таксонам (зонам и районам, рудным полям и др.) а с другой - тем или иным конкретным объектам (площадям), на которых были проведены соответствующие комплексы ГРР. Однако, и в этом последнем случае подобные казалось бы металлогенически «ненормированные» площадные категории могут быть достаточно четко скорректированы с соответствующими металлогеническими таксонами или их крупными частями, поскольку в соответствии с существующими представлениями подсчет прогнозных ресурсов должен осуществляться для целостных структур того или иного ранга.

Вся совокупность разномасштабных металлогенических единиц образует единый иерархический ряд, куда входят металлогенические пояса, мегапровинции, провинции, субпровинции (мегазоны), зоны, рудоносные районы (узлы), рудные поля и месторождения (табл.4).

В этом ряду лишь последняя металлогеническая единица, соответствующая месторождению, выделяется на основе прямых геолого-геофизических наблюдений при геологическом картировании и геологоразведочных работах. В основу выделения остальных металлогенических таксонов положены те или иные концепции, базирующиеся, в первую очередь, на представлениях о тектоническом (геодинамическом) положении объектов и генезисе месторождений полезных ископаемых. Металлогенические единицы рассматриваемого единого ряда могут быть с некоторой долей условности подразделены на четыре группы – обзорного масштаба (металлогенические пояса - мегапровинции – провинции – субпровинции), региональные мелко-, среднемасштабные (металлогенические мегазоны, зоны продуктивные бассейны), средне-крупномасштабные (рудные районы, узлы) и локальные (рудные поля, месторождения). Каждая из выделенных групп отличается площадными размерами и набором основных критериев их выделения (табл.5). В составе критериев для выделения единиц первой группы решающее значение имеют геотектонические параметры, второй - геотектонические и формационные факторы.

Для третьей и четвертой групп металлогенических объектов наряду с тектоническими и формационными факторами (сквозного действия) ведущее значение приобретают факторы рудолокализации и прямые данные о рудоносности (рудно-геохимические факторы).

Наиболее крупными единицами металлогенического районирования континентов являются **планетарные металлогенические пояса** (Тихоокеанский, Средиземноморский и др.) и **металлогенические мегапровинции** платформ (Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и др.).

РАНЖИРОВАННЫЙ РЯД МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Ранги металлогенических подразделений (базовые размеры)	Рудные полезные ископаемые (металлические, неметаллические, минеральные источники и др.)	Горючие полезные ископаемые (нефть, газ, уголь, горючие сланцы и др.)
Планетарный (млн. кв. км)	Планетарные металлогенические пояса, провинции	
Региональный (сотни тыс. кв. км)	Металлогенические пояса, провинции	
	Рудоносные пояса, провинции	Нефтегазоносные, угленосные, горючесланцевые провинции
Внутрирегиональный (десятки тыс. кв. км)	Металлогенические зоны, области, бассейны	
	Рудоносные зоны, области, бассейны	Нефтегазоносные, угленосные, горючесланцевые области, бассейны
Локальный (дискретный) (тысячи кв. км и менее)	Локальные металлогенические объекты	
Районы (тыс. кв. км)	Рудные районы	Районы нефтегазонакопления, угольные, горючесланцевые
Узлы (сотни кв. км)	Рудные узлы	Узлы, ареалы нефтегазонакопления, угольные, горючесланцевые
Поля (десятки кв. км)	Рудные поля	Поля нефтегазонакопления, угольные, горючесланцевые
Месторождения (единицы кв. км)	Рудные месторождения	Месторождения нефтяные, угольные, горючих сланцев
Тела, залежи (десятые кв. км)	Рудные тела	Залежи нефтяные, угольные, горючих сланцев

Примечание. Приставки мега-, супер-, суб- и т.п. отражают существенные отклонения площадных размеров подразделения в рамках выделенных рангов и рассматриваются как термины свободного пользования

Таблица 5

ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Металлогенические объекты (иерархические уровни)	Площадные размеры (изображение)	Глубина	Оценочные параметры	Теоретическая модель	Систематические признаки
Месторождения, рудные тела, залежи, пласты, рудные поля	$<100 \text{ км}^2$	$N \times 0.1 \text{ км}$	Содержания, запасы, прогнозные ресурсы P1-P2	Рудная формация	Ассоциации накопления (элементы, минералы, породы), их количественные, стадийные и зональные отношения
Рудные узлы, районы, ареалы угольные, нефтегазо-накопления и т.п.	$10^2 - 10^3 \text{ км}^2$	$N \times 1 \text{ км}$	Продуктивность, прогнозные ресурсы P2-P3, реализованность, категория перспектив	Рудоформирующая система	Ассоциации рудных формаций, их соотношения с рудогенерирующими, рудоносными, рудовмещающими формациями
Рудоносные зоны, области, провинции, бассейны и провинции горючих полезных ископаемых и т.п.	$10^4 - 10^6 \text{ км}^2$	$N \times 10 \text{ км}$	Суммарная продуктивность, прогнозные ресурсы P3, металлогенический потенциал	Варианты геотектонических моделей	История формирования металлогенической специализации (геохимических ресурсов) и этапы рудоконцентрирования

Под планетарными металлогеническими поясами понимаются крупные сегменты земной коры площадью $n 10^7 \text{ км}^2$, в строении которых принимают участие вертикальные и латеральные ряды структурно-формационных комплексов разновозрастных складчато-надвиговых областей, объединенных в единую суперструктуру в ходе нескольких последовательных тектоно-магматических циклов. К металлогеническим мегапровинциям платформ относятся ряды структурно-формационных комплексов, слагающие щиты (фундамент) и естественно плитные образования чехла этих блоков земной коры, сформированных в ходе нескольких тектоно-магматических (щиты) и тектоно-седиментационных (чехол плит) циклов.

Отдельную третью группу металлогенических мегапровинций представляют крупнейшие блоки мегасферы, соответствующие современным океаническим акваториям, сформированным на земной коре океанического и «переходного» типов в мезозойскую и кайнозойскую эпохи тектогенеза.

В основу выделения всех трех типов рассматриваемых структур положен геотектонический (палеогеодинамический) принцип. Их металлогенические особенности могут быть отражены лишь в самом общем виде обычно в геохимической форме.

Металлогенические провинции и субпровинции представляют следующий таксономический уровень металлогенического районирования. Под металлогеническими провинциями понимаются блоки земной коры, соответствующие уровню отдельных складчато-надвиговых областей, срединных массивов (микроконтинентов), вулконогенных поясов (активных окраин континентов); щитов и крупных структур платформенного чехла с характерными для них ассоциациями месторождений полезных ископаемых, сформированными в ходе одного или двух-трех последовательно проявленных тектоно-магматических и тектоно-седиментационных циклов (Уральская, Алтае-Саянская, Сибирская платформы и др.).

Выделение металлогенических провинций и субпровинций производится по геотектоническому (геодинамическому) принципу. За основу их типизации рационально принять классификацию, предложенную А.И. Семеновым, Ю.Г. Старицким и Е.Т. Шаталовым (1967). Эта классификация основывается, главным образом, на обобщенных характеристиках геологических комплексов, т.е. на петрохимических или литологических особенностях металлогенических, метаморфических или осадочных образований, что в конечном итоге определяет металлогенический облик этих крупных блоков земной коры. В пределах подвижных поясов территории России выделяются следующие типы и подтипы металлогенических провинций с преобладающим проявлением магматизма или метаморфизма:

1. Ультраметаморфический с подтипами Алданским (железо, флогопит, золото, титан), Балтийским (железо, титан, медь, никель, мусковит, апатит, алюминий).
2. Метаморфический салическо-фемический – Байкальский (золото, титан, мусковит, алюминий, нефелин).
3. Фемический – Уральский (железо, хром, медь, никель, золото, асбест, бокситы).
4. Салическо-фемический – Алтае-Саянский (железо, титан, золото, медь, свинец, цинк, фосфориты, марганец, молибден, вольфрам).
5. Фемическо-салический – Енисейский (свинец, цинк, вольфрам, молибден, золото, сурьма, марганец, ртуть).
6. Салический – СВ России (золото, олово, вольфрам, свинец, цинк, сурьма, ртуть, бор).
7. Щелочно-салический – Нахичеванский (свинец, цинк, ртуть, сурьма, золото).

Для блоков земной коры в пределах складчатых поясов с редуцированным проявлением магматизма (пассивные окраины континентов) выделяются существенно терригенно-карбонатные субпровинции (Западно-Уральская, Западно-Сахалинская). На основе

структурных признаков в пределах подвижных областей рационально выделять на уровне субпровинций срединные массивы, или микроконтиненты.

Для блоков земной коры с преобладающими седиментационными процессами рудогенеза в карбонатно-терригенных комплексах платформ выделяются следующие типы провинций и субпровинций:

1. Развитие которых в значительной мере определяется наличием авлакогенных прогибов (Припятско-Донецкая, Вилуйская и др.).
2. Расположенные в пределах перикратонных и передовых прогибов (Предуральская, Лено-Хатангская).
3. Приуроченные к областям развития синеклиз и антеклиз с резкоредуцированным магматизмом (Московская, Прикаспийская, Воронежская, Маймеча-Котуйская и др.).

К шестой и седьмой группам металлогенических провинций платформ относятся блоки земной коры с широким развитием внутриплитного магматизма и континентального рифтогенеза:

1. Тип мафический (базальтоиды, траппы, Тунгусская синеклизы).
2. Тип щелочно-мафический (Маймеча-Котуйская и др.)

Важнейшими единицами мелкомасштабного регионального металлогенического районирования с точки зрения количественного прогнозирования являются **металлогенические зоны**, в основу выделения которых положены естественные ряды геологических и ассоциирующих с ними рудных формаций определенного тектонического или геодинамического положения, в совокупности соответствующие структурно-металлогеническому или металлогеническому комплексу, проекция контуров которого на горизонталь – плоскость (карту) в общих чертах определяет границы металлогенических (структурно-металлогенических) зон. Таким образом, под металлогенической зоной понимается блок земной коры, часто эквивалентный структурно-формационной зоне, профилирующую рудоносность которого определяет ряд родственных пространственно-совмещенных геологических и рудных формаций той или иной стадии тектоно-магматического (тектоно-седиментационного) цикла, соответствующих определенным геодинамическим (палеогеодинамическим) обстановкам. Принципиальное различие таких рудоконтролирующих факторов, как палеофациальные, палеоклиматические, тектонические, магматические, метаморфические и др., определяет необходимость разделения всего многообразия структурно-вещественных комплексов на несколько генетических групп:

1. Согласно стратифицированных образований, сложенных осадочными и осадочно-вулканогенными формациями (металлогения осадочных бассейнов).
2. Секущих, представленных интрузивными и ассоциирующими с ними гидротермально-метасоматическими формациями.
3. Метаморфических образований (не подлежащих реконструкции).
4. Кор выветривания.

Таким образом, в основу выделения и характеристики металлогенических зон положены:

1. Ряды геологических и ассоциирующих с ними рудных формаций.
2. Геотектоническое (геодинамическое) положение рядов геологических и рудных формаций.
3. Состав геологических образований, слагающих профилирующие ряды геологических формаций.

В совокупности эти три основные характеристики определяют тип структурно-металлогенического или металлогенического комплекса - структурно-вещественного эквивалента металлогенической зоны. Основные типы металлогенических зон приведены в табл.6. Прогнозные ресурсы в пределах зон обычно оцениваются по категории P_3 или в

Чехлы платформ (рифей-фанерозой)						Подвижные пояса (рифей-фанерозой)										
						Внешние области		Внутренние области								
Внутриконтинентальные бассейны						Пассивные окраины континентов и микроконтинентов		Активные окраины континентов				Области коллизий континентов и микроконтинентов				
Конседиментационные поднятия и впадины			Надрифтовые прогибы			Шельф и континентальный склон		Островные дуги и задуговые моря			Окраинные вулканоплутонические пояса		Сутурные швы	Покровно складчатые зоны	Краевые и межгорные прогибы	
Терригенные и теригенно-карбонатные		Эвапоритовые	Терригенные и теригенно-карбонатные		Эвапоритовые	Терригенные и терригенно-карбонатные	Терригенно-карбонатные с редуцированным базальтоидным вулканизмом	Карбонатно-терригенные и дифференцированные базальтоидные	Габброидные	Гранитоидов повышенной основности	Вулканические андезитовые и риолитовые	Гранитоидные	Габбро-гипербазитовые и недифференцированные базальтоиды	Гранитоидные	Терригенные и терригенно-карбонатные	Эвапоритовые
Сероцветные	Пестроцветные		Сероцветные	Пестроцветные												
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
11,1	12,1					17,1		19,1	20,1	21,1			24,1		26,1	
						17,2	18,2	19,2				23,1		25,1		
	12,2					17,3										
	12,1			15,1		17,1		19,1		21,2	22,1	23,2	24,2	25,2	26,2	
11,2										21,3		23,3		25,3		
										21,4	22,2	23,4		25,4		
			14,1					19,4			22,3		24,3	25,5	26,3	
							18,2	19,5		21,5	22,4	23,5	24,4	25,6		
11,3		13,1			16,1	17,6	18,3	19,6								27,1
11,4						17,7		14,7					24,5	25,7		
11,5			14,2			17,8									26,4	
11,6											22,5					

Области внутриплитной тектоно-магматической активизации

Внутриконтинентальные вулcano-плутонические пояса				Осадочные эпикра- тонные впадины
Габро-гипербази- товые	Щелочных гипер- базитов и габброи- дов	Гранитоидов	Базальтов, андезитов и риоли- тов	Терригенные
28	29	30	31	32
28,1	29,1			
		30,1		
28,2	29,2	30,2	31,1	
	29,3	30,3		
		30,4		
		30,5	31,2	32,1
	29,4	30,6	31,3	
	29,5			
	29,6			
			31,4	
				32,2
			31,5	32,3

качественной форме на уровне металлогенических ресурсов. Важно подчеркнуть, что рассчитанные по методу аналогий на основе региональных данных цифры прогнозных ресурсов категории P_3 или металлогенических ресурсов отдельных металлогенических зон, как правило, включают сумму подсчитанных и отработанных запасов месторождений известных в пределах рассматриваемых структур.

Рудные районы и узлы рассматриваются как объекты следующего таксонометрического уровня. Рудный район представляет собой продуктивную или потенциально-продуктивную часть металлогенической зоны, профилирующая рудная специализация которого определяется одной или сочетанием 2-3 геологических формаций или типом металлогенической зоны (простые рудные районы). Полихронные или сложные рудные районы могут возникать в узлах совмещения (пересечения) разновозрастных металлогенических зон с различной рудной специализацией. Теоретической структурно-вещественной моделью рудного района или узла является представление о рудоформирующей (рудообразующей) системе (РФС), взаимоувязывающей локально проявленные рудные формации с региональными рудоносными, рудогенерирующими и рудовмещающими формациями. Структурообразующие компоненты рудного района – это рудные узлы и поля (месторождения), в том числе потенциальные, связанные единством геохимических ресурсов и рудоконтролирующих процессов.

Соответственно главными геологическими признаками для выделения рудных районов являются рудоносные (рудопродуктивные, рудогенерирующие и др.) формации, а также некоторые "внутриформационные" факторы-фациальные особенности геологических комплексов, характер их строения, стратиграфические несогласия, разломы и др., характеризующие предполагаемый источник рудного вещества, пути миграции транспортирующих агентов и места локализации оруденения, что в совокупности отвечает основным показателям рудообразующей системы.

Рудный район как металлогенический объект представляет собой совокупность сближенных и однотипных рудных узлов или отдельных месторождений общей площадью в тысячи квадратных километров.

Геолого-экономическая оценка рудных узлов (районов) определяется запасами и прогнозными ресурсами полезных ископаемых в их пределах.

Представляется рациональным введение понятия **потенциального рудного узла или района**, т.е. перспективной площади (в сотни или тыс. кв. км), в пределах которой на момент проведения работ не известны промышленные объекты с достаточно четко локализованными в пространстве прогнозными ресурсами. В другом варианте это вероятностная форма представления прогнозных ресурсов категории P_3 в пределах прогнозной площади более высокого ранга без их конкретной привязки.

Последний - 4 уровень металлогенических объектов (таксонов) включает в себя **рудные поля, месторождения и отдельные рудные тела**.

Все объекты данного таксономического уровня характеризуются в первую очередь концентрациями (содержаниями) и массой полезных компонентов, а также формами их нахождения. Структурно-вещественными моделями этих объектов являются рудные формации (РФ), характеризующиеся минеральными ассоциациями с устойчивыми стадийными, зональными и количественными отношениями. В естественном выражении они представляют собой локальные геологические тела определенных классов.

Участки выделяются преимущественно на основе факторов рудолокализации, т.е. на основе структурных, магматических, минералого-геохимических признаков, а также на основании прямых признаков рудоносности. Прогнозные ресурсы перспективных участков подсчитываются по категориям P_2 и P_1 а также по категории C_2 .

В пределах отдельных перспективных участков рационально выделение потенциальных рудных полей, месторождений и отдельных рудных тел, характеризующихся комплексом структурных, магматических, литологических, минералого-геохимических признаков, свидетельствующих о вероятной локализации в их пределах промышленного

оруденения. Геолого-структурная обстановка размещения рудных полей преимущественно связана с соответствующими типами рудных районов.

В наиболее общем случае при локальном прогнозе и поисках решается задача определения положения возможного местонахождения месторождений по 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 ней. 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.

Необходимо отметить, что, несмотря на общность подхода к выделению таксономических единиц разных рангов, в настоящее время имеются определенные разногласия, в частности, касающиеся конкретных методов выделения металлогенических таксонов. Можно говорить об использовании двух основных методов - блокового (доменного) и историко-эволюционного. В предлагаемом варианте используются оба подхода - первый "доменный" применен при выделении металлогенических единиц обзорного масштаба, суть которого заключается в выделении важнейших геотектонических единиц (щиты, чехлы платформ, подвижные области) и их крупнейших сегментов (зеленокаменные пояса, литоплиты, внутриплитные прогибы, пассивные окраины континентов, складчатые системы, срединные массивы и др.) с характерной для них суммарной металлогенической специализацией.

Историко-эволюционный подход наиболее характерен для выделения металлогенических зон и соответствующих им структурно-металлогенических комплексов, характеризующихся определенным геотектоническим (геодинамическим) положением в ходе тектономагматического (тектоно-седиментационного) циклов, особенностями формационного состава и соответствующих им рудно-формационных рядов. Выделение рудоносных районов также производится на основе историко-эволюционного принципа при ведущей роли представлений о рудообразующих системах и критериях их выделения.

Выделение конкретных месторождений, как уже было сказано выше, производится на основе картируемых структурно-вещественных признаков с учетом представлений о генезисе соответствующих рудных концентраций (локальных рудообразующих системах).

При мелко- и среднемасштабном металлогеническом анализе особенно важно соблюдать условие адекватности элементов прогнозно-металлогенического районирования (металлогенические 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) геолого-промышленным типом месторождений.

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 используются структурно-формационные основы с рудной нагрузкой. При-

менительно 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 геолого-съёмочных 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. Прогнозная карта-накладка по своему содержанию является результирующей и содержит фактически лишь итоги прогноза.

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.

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.

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 неопределенными перспективами. Последнее, естественно, снижает качество работ.

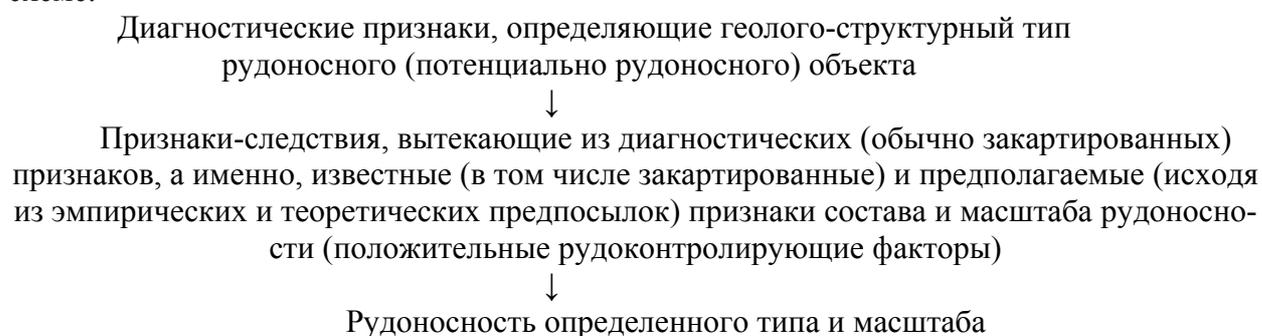
Факторы и признаки выделения и оконтуривания прогнозных площадей разного ранга, требования к результатам работ соответствующих стадий и исходным материалам, факторы и методы оценки прогнозных ресурсов применительно к площадям разного ранга рассмотрены в последующих выпусках Руководства применительно к важнейшим видам твердых полезных ископаемых и их основным геолого-промышленным типам.

МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

В основе оценки прогнозных ресурсов рудоносных объектов лежит металлогеническое моделирование. Первоочередной задачей при этом является создание библиотеки типов (моделей) рудоносных объектов различного иерархического уровня с диагностическими признаками, определяющими признаки-следствия – ресурсы минерального сырья.

Прогноз количества минеральных ресурсов на площадях и объектах, недостаточно изученных для их прямого расчета по измеренным параметрам, - это прогноз особого рода, ибо он относится не к будущим событиям, а к тем, что уже свершились. Таким образом, это не прогноз в точном смысле этого слова, а своего рода диагноз, оценка того, что уже произошло. Принадлежность металлогенического прогнозирования к классу диагностических процедур определило необходимость типизации для целей прогнозирования рудоносных объектов различного иерархического уровня с описанием их отдельных элементов, интенсивности их проявления и связей между ними, т.е. создание их металлогенических моделей. Элементы моделей могут быть выражены вещественно или абстрактно (через символы). Традициям металлогенического анализа отвечает вещественное моделирование, выражающееся в создании моделей – словесных (письменных), графических (картографических, компьютерных), комплексных. Однако при прогнозировании в планетарном, континентальном, провинциальном масштабах теоретические и эмпирические (статистические, термодинамические) закономерности аккумуляции и перераспределения энергии и вещества, связи процессов концентрации и рассеяния элементов могут быть выражены через абстрактные модели распределения промышленной рудоносности вне зависимости от геологического строения территорий (Овчинников, 1971; Квятковский, Новиков, 1974; Сафронов, Мещеряков, Иванов, 1978; Никитин, 1978; Булкин, 1984; Булкин, Неженский, 1991; Неженский, 1997 и др.). Сюда же относятся модели распределения рудоносных объектов по размерам запасов – ранговые ряды (Булкин, Неженский, 1982, 1985, 1991; и др.). Наряду с вещественными (Кривцов, 1989; и др.) абстрактные модели играют также большую роль при прогнозировании в крупных и детальном масштабах, однако в этом случае их обычно выводят не из теоретических предпосылок, как при планетарном и региональном масштабах, а получают статистически путем соответствующей обработки обильной количественно выраженной геологической информации (Бекжанов, Бугаец, Лось, 1987; Решение задач..., 2001; и др.). На этом уровне возможно применение и теоретических моделей типа ранговых рядов рудных тел, распределения запасов руд с различным содержанием полезных компонентов и др. (Кистеров, Питулько, 1979; Питулько, Крицук, 1989; Булкин, Неженский, 1991; и др.).

При прогнозировании металлогенические модели выступают в роли «метрических эталонов» при оценке и контроле рудоносности. Создание моделей происходит путем анализа эмпирического материала с учетом теоретических предпосылок по следующей схеме:



1. Металлогенические модели обзорного и регионального рангов

В основу выделения региональных металлогенических таксонов положена система разноранговых тектонических единиц, каждая из которых в своей совокупности представляет генетическую модель, основанную на особенностях латеральных и вертикальных рядов геологических формаций и их структурных взаимоотношений. Другими словами в основу тех или иных тектонических представлений положены первичные структурно-вещественные признаки. Металлогенические таксоны образуют единый иерархический ряд от металлогенических мегапровинций и планетарных подвижных поясов до отдельных месторождений.

Конкретные виды металлогенических моделей зависят в первую очередь от ранга и типа моделируемых рудоносных структур, способов описания элементов моделей и исходных предпосылок, определяющих в итоге характер и набор диагностических признаков. Таким образом, сущность металлогенических моделей обзорного или регионального рангов основывается на понятиях о металлогенических поясах, мегапровинциях, провинциях, структурно-металлогенических зонах и районах, основные характеристические параметры которых отражены в таблицах № 2 и 3. Реализация этих металлогенических разработок (в моделях и терминах геосинклиальной концепции) осуществлялась на ряде карт, составленных около 20 лет тому назад.

В настоящее время при металлогенических разработках и построениях соответствующих моделей большинство отечественных и зарубежных геологов исходит из основных положений плейт-тектонической гипотезы. Среди исследований последних лет этого направления следует отметить три основные работы:

1. Карта металлогенических зон России м-ба 1:10000 000. Ю.В. Богданов, К.А. Марков и др., 1996 г.
2. Карта металлогенического районирования России м-ба 1:5000 000. Г.С. Гусев и др. 2000 г.
3. Минерагеническая карта Российской Федерации и сопредельных государств м-ба 1:2500 000. Натанов, Д.В. Рундквист и др. 2001 г.

Первая и последняя из вышеуказанных карт составлены на основе историко-эволюционного подхода и приведенная на них типизация металлогенических таксонов, в первую очередь металлогенических зон, может рассматриваться как совокупность металлогенических моделей разноуровневых металлогенических таксонов. На второй карте, составленной на основе доменного принципа, металлогенические зоны остались не типизированными, т.к. каждый блок или зона, выделенная на основе современной структуры по ограниченному набору фактов, например, глубине залегания фундамента и др.) характеризуется в итоге своими неповторимыми особенностями. Очевидно, что данный подход наиболее рационален при выделении таксонов обзорного уровня, на которых находят свое отражения лишь суммарные металлогенические особенности крупнейших блоков земной коры.

Суммируя приведенные материалы можно говорить о следующих основных типах моделей металлогенических таксонов, оставив в стороне понятие о глобальных структурах, которые в основном имеют теоретическое значение.

Модели металлогенических провинций, охватывающие области развития платформенного чехла и подвижных поясов, включая раннеархейские зеленокаменные пояса и разделяющие их литоплинты древних щитов. Среди них можно выделить следующие ареалы развития геологических комплексов с присущей им рудоносностью (тип металлогенических комплексов):

1. Щиты древних платформ с развитием раннедокембрийских метаморфических комплексов, с наложенным докембрийским и фанерозойским магматизмом.
2. Образования собственно платформенных осадочных бассейнов, континентальных рифтов и внутриплитного магматизма.
3. Образования коллизионных областей – собственно коллизионных, пассивных континентальных окраин и континентальных рифтов.
4. Образования аккреционно-коллизионных областей (островодужных, океанических, пассивно-окраинных и собственно аккреционно-коллизионных).
5. Аккреционно-коллизионно-активно-окраинных, островодужных, пассивно-окраинных и аккреционно-коллизионных.

Вещественная характеристика геологических комплексов и их рудная специализация в соответствующих моделях приводится в обобщенной петролого-геохимической форме, например – мафические, салические провинции сидеро-халькофильного и литофильного профиля и др.

Наиболее важными моделями регионального уровня являются металлогенические зоны, в основу выделения и типизации (моделирования) которых положены естественные вертикальные и латеральные ряды геологических и ассоциирующих с ними рудных формаций определенного тектонического (геодинамического) положения. В совокупности они отвечают металлогеническому комплексу, проекция которого на горизонтальную плоскость соответствует границам металлогенических или структурно-формационных зон на карте.

Таким образом, основными параметрами модели металлогенической зоны на карте являются:

1. Вещественный состав формационного комплекса
2. Его геодинамическое положение
3. Ряды рудных формаций, ассоциирующие с геологическими комплексами.

В некоторых случаях, например, для раннего докембрия и кайнозоя к числу определяющих характеристик относятся также возрастное положение геологических и рудных формаций.

Основные типы металлогенических зон в соответствии с легендой к карте Металлогенических зон России м-ба 1:10000 000 приведены в табл. № 6.

Следующим таксономическим уровнем металлогенических моделей являются рудные районы.

Под рудным районом обычно понимается часть металлогенической зоны, выделяемая по основному признаку – локализации одного или группы сблизженных промышленных месторождений и сопровождающего их шлейфа рудопроявлений. Принципы выделения и типизации рудных районов рассматривались неоднократно, тем не менее эти вопросы до сих пор остаются недостаточно разработанными, особенно для площадей с развитием стратиформного оруденения. При выделении и типизации рудных районов со стратиформным оруденением, рассматриваемых как составные части рудоносных осадочных бассейнов (суббассейнов), рекомендуется учитывать: дискретность распределения оруденения в разрезе и по площади осадочного бассейна, многообразие морфологических типов его проявления; закономерную приуроченность оруденения к устойчивым стратиграфо-формационным уровням разреза осадочных комплексов (геолинз); группировку разноранговых рудных объектов, несущих узловый характер, на структурно изолированных площадях внутри рудоносного осадочного бассейна. Эти признаки позволяют определить рудный (или потенциально рудный) район стратиформного оруденения как часть рудоносного осадочного бассейна, характеризующегося концентрацией проявлений оруденения при структурно-литологической особенности и выраженном развитии стратиграфо-формационных уровней в разрезе осадочного комплекса.

Приведенное определение инвариантно относительно вещественно-геодинамических типов осадочных бассейнов, что перекликается с выводами И.Н.Томсона (1988) о том, что

факторы контролирующие оруденение (т.е. определяющие положение рудного района), нередко носят общий характер, т.е. могут определять концентрацию оруденения самого различного состава.

Некоторые типы рудных районов со стратиформным оруденением и обстановки их локализации, по В.П. Феокистову и А.К. Иогансону (1993), приведены в табл.№7.

Нетрудно видеть, что предложенная концепция выделения и типизации рудных районов со стратиформным оруденением составлена в основном с учетом главнейших палеотектонических и литолого-стратиграфических параметров, т.е. базируется на сочетании концептуальных и структурных вещественных факторов. Большое разнообразие геологических обстановок в пределах рудных районов, а также широкий спектр развитой в ней профилирующей минерализации и как следствие достаточно разнообразный набор ведущих рудоконтролирующих факторов не позволяет ограничиться только структурно-вещественными взаимоотношениями. При более общем подходе к этому вопросу за основу построения моделей рассматриваемых таксонов предложено брать концептуальные положения не только тектонического но и рудо-генетического характера, в частности, представления о рудообразующих или рудоформирующих системах. Таким образом, выделение типизированных по РФС рудных районов по существу сводится к геометризации (картографированию) суммы ведущих геологических факторов, характеризующих ту или иную систему. К их числу относятся как геодинамические (тектонические), так и формационные признаки, как бы унаследованные от типа металлогенической зоны, так и более локальные, характеризующие предполагаемый источник рудного вещества, вероятные пути миграции транспортирующих агентов и факторы локализации руд, а также прямые рудно-геохимические признаки. В качестве примера подобного подхода к выделению и типизации рудных районов можно привести «Карту рудных районов России» м-ба 1:5000 000, составленную под руководством Е.В. Плющева (2001г.)

Типы СМЗ однозначно характеризуются рядом геологических и связанных с ними рудных формаций и геоструктурной позицией. С каждой ведущей геологической формацией (иногда с двумя-тремя родственными формациями) связаны (генетически и (или) пространственно) рудные формации (парагенезис рудных формаций). Каждая такая группа формаций по существу характеризует модель рудного района, а их число указывает на количество возможных типов рудных районов в пределах данной СМЗ. Таким образом, в характеристиках моделей СМЗ «просвечивают» модели рудных районов и узлов. Более того, в таких «просвечивающих» моделях рудных районов в свою очередь «просвечивают» характеристики моделей рудных полей. Если модель рудного района характеризуется одной геологической формацией (реже несколькими) и отвечающим ей парагенезисом рудных формаций, то модель рудного поля описывается одной геологической формацией или ее частью (подформацией, субформацией) и отвечающей ей рудной формацией. При этом тип рудной формации определяет взаимоотношения рудогенерирующих и вмещающих формаций, тип сопровождающего метасоматоза, масштаб ожидаемой рудоносности, технологические особенности руд.

Кроме рассмотренных подходов к металлогеническому моделированию можно выделить подходы, в которых отдельным геологическим признаком (фактором) отводится преобладающая роль в контроле размещения МПИ. Среди них наиболее интересен линейно-ментный подход, рассматривающий в качестве основных рудоконтролирующих факторов глубинные разрывные нарушения, контролирующие, согласно данной концепции, размещение крупных месторождений (Kutina.1969; Глобальные закономерности...1974; Денисенко, Лобков, 1978; Башкиров, Попов, 1981; Иванов, Лекерова, 1981; и др.).

Рассмотренные группы моделей в той или иной мере генерализуют, обобщают, упрощают, «спрямляют» сложные природные зависимости месторождений полезных ископаемых от геологических образований и процессов, толкуя их по существу как «линейные». А.Д. Щеглов (1983,1985,1995 и др.) считает, что «линейные» модели

**Обстановки локализации рудных районов со стратиформным оруденением
(рудоносные суббассейны)**

Осадочные бассейны	Осадочные комплексы	Рудоконтролирующие стратиграфические вещества-неоднородности	Преобладающие обстановки седиментации	Типы седиментационных структур			
				Депрессии	Поднятая		
					Склоны	Апикальные части	
Суб-Субаеральные	Терригенные	Согласные - рудоносные пачки	Речные долины	Лисбон-Валли (Колорадо) - U, V, Си	Каргалинский район (Приуралье) - Cu, Ag; районы россыпной рудности - Au, Sn и др.		
			Наземные конуса выноса	Ист-Ранд (Витватерсранд) - Au, U			
			Озерные котловины	Оз. Серлз (Калифорния) - W, Li, B; Прнвятский район (Русская плита) - Cu			
			Кососякущие рудоконтролирующие зоны	Контрастного латерального замещения	Подводные дельты	Намингинский район (Удокан) - Cu (Ag, Au)	
				Перерывы и несогласия	Субконтинентальные отложения	Раббит-Лейк (Атабаска, Канада) - U, Ni, Co, Au, Cu	
			Согласные — рудоносные пачки	Бары, отмели	Нижнесилезский район (Польша) - Cu, Ag, МПГ, Pb, Zn	Прибрежные россыпи Au, Sn	
		Лагуны, мульты на отмели		Бигадиш (Турция) - B; Малый Карагау (Южный Казахстан) - P			

Океанические	Терригенные, кремнисто-глинистые	Согласные рудоносные пачки	Застойные впадины глубокого шельфа	Миргалимсайский район и др., Большой Каратау (Казахстан) - Рb, Ва; Мак-Артур-Ривер (Австралия) - Zn, Рb, Ag; Сонглинь и др. (Южный Китай) - Ni, Mo, МПГ; Карлин (Невада) - Au, Hg As		
		Косоугольные — зоны контрастного лагерального замещения и выклинивания, пещеры и несогласия	Внутренние поднятия		Джезказганский (Центральный Казахстан) - Cu, Ag, Рb	
			Рифы, органо-генные массивы		Юго-восток Миссури (США) - Рb, Zn; Пайн-Пойнт (Канада) – Zn, Рb; Сардана (Якутия) — Zn, Рb, Ge	Шинг-Магнан-ский район (Кыргызстан) - Sb, Hg
			Карбонатные и песчаные банки		Ангарский район (Сибирская платформа) - Cu	Наван (Ирландия) – Zn, Рb; Иллинойс-Кентукки (США) - Zn, Фл
			Глубоководные иловые впадины	Верхнеенашимский район (Енисейский край) — Au, Sb (W); Холоднинский (Северное Прибайкалье) Zn, Рb		
			Абиссальные депрессии	Южно-Тихоокеанское поле - Fe, Mn, Co		
			Внутриокеанические поднятия, склоны хребтов	Районы Восточно-Тихоокеанского поднятия - Cu, Рb, Zn, Fe, Mn		

недостаточно учитывают сложный характер формирования месторождений в структурах земной коры, при котором «процессы последовательного параллельного (одновременно) и наложенного их развития тесно переплетаются, влияют друг на друга», будучи «функцией различных тектонических режимов» (Регион. геол. и мет., 1995, №4, с.12). С этим утверждением нельзя не согласиться. Однако создание столь же стройной и достаточно всеобъемлющей системы «металлогенических ситуаций», более полно отвечающей «нелинейному», по А.Д. Щеглову, характеру развития геологических процессов, обуславливающих, в частности, порой одновременное формирование коровых, мантийных и космогенных месторождений, - дело будущего, что не исключает учета положений «нелинейной» металлогении и при традиционном формационном анализе. В то же время эмпирически устанавливаемая связь конкретных рядов и отдельных геологических формаций с рядами или отдельными рудными формациями наиболее консервативна по отношению к различным гипотезам и в хорошем смысле допускает применение шаблона и палетки при практическом прогнозировании на различных стадиях ГРР.

2. Металлогенические модели при крупномасштабных и детальными исследованиями

В основу этого класса металлогенических моделей положены металлогенические таксоны на уровне рудных узлов, полей, ведущих геолого-промышленных типов месторождений.

Элементарным металлогеническим объектом, который выделяется на основе прямых полевых наблюдений в ходе геолого-съёмочных, поисковых и разведочных работ, является рудное тело. Под рудным телом понимается участок природной или техногенной концентрации полезных компонентов в виде минерального агрегата, приуроченного к геологическому телу (телам) определенного состава и структуры. Объем рудного тела в пространстве устанавливается по содержанию и качеству полезных компонентов, определяющих рентабельность их извлечения при данных геолого-экономических условиях и по структурно-вещественным границам. Месторождение или проявление полезного ископаемого может быть представлено одним рудным телом или ассоциацией тел, объединенных общностью состава и структурных взаимоотношений. Под месторождением понимается скопление полезного ископаемого, которое в количественном и качественном отношении является или может быть предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и данных экономических условий, а под проявлением – скопление минерального вещества, которое из-за недостаточных параметров (содержаний, качеств, запасов и т.д.) не может быть отнесено к категории месторождений. Принципиальным отличием рудного узла и рудного поля от месторождения и проявления является характер их границ. Если для месторождений и проявлений границы устанавливаются, хотя и условные, в зависимости от тех или иных кондиций, но все же путем прямых наблюдений (например, по результатам опробования) то контур рудных узлов и полей носит в значительной мере интерпретационный характер. Рудные узлы и поля объединяются общностью структурно-вещественных особенностей входящих в них проявлений и месторождений, связью последних с единой рудогенерирующей системой, а также определенной геолого-экономической общностью и самостоятельностью. При прочих равных условиях основными отличиями рудных узлов и полей являются их геометрические размеры, а также размеры «безрудных» интервалов между входящими в них месторождениями и проявлениями. Таким образом, для единиц рассматриваемого ранга главным объектом является геологическая модель месторождения, являющаяся определяющей для любых производных модельных построений.

Построение геологических моделей месторождений по существу относится к области специализированных прогнозно-металлогенических исследований – моделированию объектов прогноза и поисков на определенный геолого-промышленный (рудно-формационный) тип МПИ. Такое моделирование проводится на всех иерархических уровнях, но наибольшее значение оно имеет на уровне рудных районов, узлов и особенно рудных полей. Соответствующие модели вошли в геологическую практику под названием

«прогнозно-поисковые комплексы» (ППК). Модели ППК являются как бы технологической схемой реализации геологоразведочного процесса на определенной стадии ГРР. В модель ППК входят, с одной стороны, оптимизированный набор признаков объектов прогноза и поисков и, с другой, оптимизированный набор методов, выявляющих эти признаки, а через них и объекты. В настоящее время ППК описаны для многих важнейших промышленных типов минерального сырья (Прогнозно-поисковые комплексы, 1983 и др., различные выпуски; Кривцов, 1989; и др.). ППК являются элементом, продолжающим региональное металлогеническое моделирование и технологически конкретизирующим его. Составление подобных моделей базируется на углубленной статистической обработке обширных материалов, полученных в ходе поисков, разведки и эксплуатации, отдельных геолого-промышленных типов месторождений минерального сырья.

В основу составления прогнозно-поисковых моделей месторождений положена их приуроченность к конкретным формационно-фациальным комплексам пород. Методология прогноза месторождений и используемые при этом факторы в существенной мере зависят от геолого-генетических моделей рудообразующих систем, в которых находят свое отражение роль геологических формаций в рудогенезе, а также физико-химические условия образования и (или) преобразования рудного вещества. Принципиально геолого-генетическая модель месторождения в соответствии со взглядами А.И. Кривцова, Г.В. Ручкина и др. исследователей может быть охарактеризована следующим рядом признаков и критериев:

1. Палеотектоническая обстановка (для рудовмещающей формации)
2. Рудоносная (рудовмещающая) формация
3. Перекрывающая оруденение формация (толща)
4. Подстилающая формация (толща)
5. Рудовмещающая толща
6. Главные литолого-стратиграфические уровни локализации оруденения
7. Количество уровней рудолокализации
8. Рудоконтролирующие структуры на момент формирования оруденения (в современном плане)
9. Гидротермальные изменения – синрудные, пострудные
10. Состав рудных тел
11. Зональность рудных тел
12. Геохимические ареолы, отражающие геологические особенности месторождения и рудных тел
13. Геофизические аномалии, отражающие позицию рудных тел или блоков с рудными телами.

При составлении моделей по этой схеме необходимо выделить главные и второстепенные признаки, а также акцентировать внимание на прямых и косвенных признаках нахождения оруденения.

Такая модель в графическом выражении должна содержать типовые литолого-стратиграфические колонки, литолого-структурные и палеофациальные разрезы и литолого-структурную итоговую карту рудного поля с указанием на ней площади эталонного объекта. Конкретное содержание отдельных моделей различных геолого-промышленных типов месторождений приведены в инструкциях по количественной прогнозной оценке различных видов минерального сырья.

При количественном средне- и крупномасштабном прогнозировании широко применялись методы, основанные на математическом моделировании геологических обстановок проявления промышленной рудоносности (обычно инвариантных по отношению к типу оцениваемых структур, их целостности или фрагментарности), при которых количественно описываются взаимосвязи между характеристиками геологическими и рудоносными (статистические, экспертные модели). Проблема математического моделирования освещена в работах А.П. Куклина (1971 и др.) А.Н. Бугайца и Л.Н. Дуденко (1976), Ф.П. Агтерберга (1980 и др.), В.В. Марченко (1980 и др.), С.Д. Бешелева и Ф.Г. Гурвича (1980),

И.А. Неженского (1982 и др.), Г.Р. Бекжанова, А.Н. Бугайца, В.Л. Лося (1987), Е.Н. Черемисиной и др. (2001) и др.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ (ПРИНЦИПЫ) 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.

Общая последовательность металлогенического анализа следующая: установление закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и выявление рудоконтролирующих факторов → определение критериев прогнозирования → выделение перспективных площадей, их качественная оценка → количественная оценка перспективных площадей, т.е. оценка прогнозных ресурсов → геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов → стоимостная оценка минерального сырья в недрах территорий → оценка экономического риска, принятие решений о продолжении ГРП, выставление объекта недропользования на лицензирование и т.п. (табл.8).

Оценка прогнозных ресурсов закреплена законодательными актами правительства, инструктивными материалами и приказами МПР РФ. Поэтому объекты оценки, уровень ее детализации предопределяются соответствующими документами, в том числе такими как «Положение о порядке проведения ГРП по этапам и стадиям» (1999), «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (1997), «Методические указания по оценке, апробации и учету прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых РФ» (1997) и др.

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

Принцип взаимосвязи проявления различных форм тектонических движений, осадконакопления, магматизма и типов месторождений. Этот принцип лежит в основе разработанной Ю.А.Билибиным и его последователями концепции общей направленности в развитии структур земной коры (эволюция в рамках тектоно-магматического цикла развития подвижных поясов и платформ), положенной в основу регионального металлогенического анализа. По существу этот же принцип лежит в основе установления связи между рудоносностью и геодинамическими обстановками (эволюция в рамках геодинамического цикла Уилсона). Для целей количественного прогнозирования особенно важен вытекающий из рассмотренного принципа как следствие принцип вероятностного подобия.

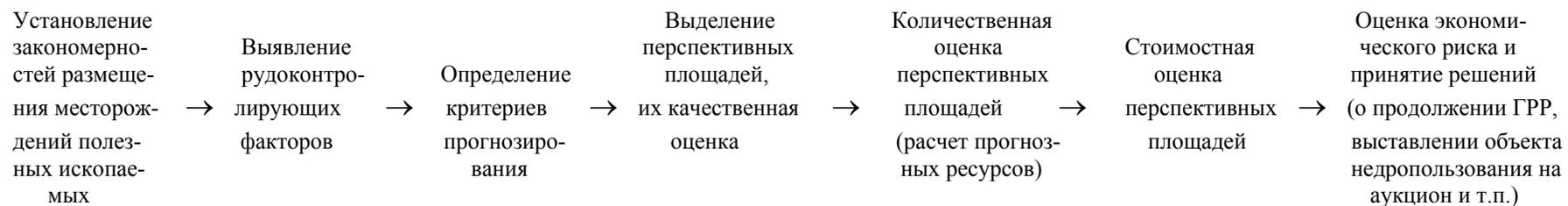
Принцип вероятностного подобия. Наиболее вероятно, что сходным геологическим обстановкам со сходной историей развития будет свойственно близкое по типу и масштабам оруденение. На этом принципе базируется метод оценки прогнозных ресурсов по геологической аналогии. При количественном прогнозировании эта 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. Оценки прогнозных ресурсов, основанные на принципе подобия, имеют вероятностный характер, что вытекает из вероятностного подхода к сопоставлению объектов по принципу подобия.

**Обстановки локализации рудных районов со стратиформным оруденением
(рудоносные суббассейны)**

Осадочные бассейны	Осадочные комплексы	Рудоконтролирующие стратиграфические неоднородности	Преобладающие обстановки седиментации	Типы седиментационных структур			
				Депрессии	Поднятая		
					Склоны	Апикальные части	
Субаеральные	Терригенные	Согласные - рудоносные пачки	Речные долины	Лисбон-Валли (Колорадо) - U, V, Си	Каргалинский район (Приуралье) - Cu, Ag; районы россыпной рудоносности - Au, Sn и др.		
			Наземные конуса выноса	Ист-Ранд (Витватерсранд) - Au, U			
			Озерные котловины	Оз. Серлз (Калифорния) - W, Li, B; Прнвятский район (Русская плита) - Cu			
		Кососящие рудоконтролирующие зоны	Контрастно латерального замещения	Подводные дельты	Намингинский район (Удокан) - Cu (Ag, Au)		
			Перерывы и несогласия	Субконтинентальные отложения	Раббит-Лейк (Атабаска, Канада) - U, Ni, Co, Au, Cu		
		Согласные - рудоносные пачки	Кососящие — латерального замещения и выклинивания, перерывы и несогласия	Бары, отмели	Нижнесилезский район (Польша) - Cu, Ag, МПГ, РЬ, Zn		Прибрежные россыпи Au, Sn
				Лагуны, мульды на отмели	Бигадиш (Турция) - В; Малый Каратау (Южный Казахстан) - Р		
				Застойные впадины глубокого шельфа	Миргалимсайский рон и др., Большой Каратау (Казахстан) - РЬ, Ва; Мак-Артур-Ривер (Австралия) - Zn, РЬ, Ag; Сонглинь и др. (Южный Китай) - Ni, Mo, МПГ; Карлин (Невада) - Au, Hg, As		
				Внутренние поднятия			Джезказганский (Центральный Казахстан) - Cu, Ag, РЬ
				Рифы, органогенные массивы			Юго-восток Миссури (США) - РЬ, Zn; Пайн-Пойнт (Канада) - Zn, РЬ; Сардана (Яку-тая) - Zn, РЬ, Ge
Карбонатные и песчаные банки				Ангарский район (Сибирская платформа) - Cu	Наван (Ирландия) - Zn, РЬ; Иллинойс-Кентукки (США) - Zn, Фл		
Субмаринные	Терригенные, кремнисто-глинистые	Согласные рудоносные пачки	Глубоководные иловые впадины	Верхнеенашимский район (Енисейский край) - Au, Sb (W); Холоднинский (Северное Прибайкалье) Zn, РЬ			
			Абиссальные депрессии	Южно-Тихоокеанское поле - Fe, Mn, Co			
			Внутриокеанические поднятия, склоны хребтов	Районы Восточно-Тихоокеанского поднятия - Cu, РЬ, Zn, Fe, Mn			

Таблица №8

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МЕЖСТАДИЙНОГО И СОПУТСТВУЮЩЕГО
(ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРР)
МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**



Практическое применение формационных критериев прогнозирования по аналогии базируется на трех исходных положениях (Богданов, 1984, 1987; и др.):

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, 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 металлогенических 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). На этом принципе базируются различные геохимические (в том числе кларковый) и геофизические методы оценки прогнозных ресурсов.

Принцип системности. Этот принцип общеметодологический. Он включает в себя принципы соответствия и последовательного приближения

Согласно принципу соответствия сопоставляемые при прогнозировании эталонные и оцениваемые объекты, а также металлогенические, структурные, вещественные, временные категории должны быть соизмеримы, то есть относиться к одному иерархическому уровню. С другой стороны, исследуемые объекты и прогнозируемые в их пределах объекты должны подчиняться принципу последовательного приближения, т.е. различаться на порядок. Например, в пределах металлогенических провинций выделяются и оцениваются структурно-металлогенические зоны, в пределах последних — рудные районы и т. п.

Принцип последовательного приближения подразумевает также соответствие рудо-контролирующих факторов иерархическому уровню прогнозируемых объектов (то есть как бы должна быть учтена «разрешающая способность» той или иной группы факторов). Соблюдение этого положения особенно важно на этапе выделения перспективных объектов, непосредственно предшествующем оценке прогнозных ресурсов. При этом на каждом иерархическом уровне выделяются геологические позиции, однородные по отношению к рудоконтролирующим факторам именно данного уровня.

Принцип последовательного приближения подразумевает также преобладание индуктивного подхода (анализ «снизу вверх») при выявлении закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и анализе рудоконтролирующих факторов, и 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, 1965), при которой крупные месторождения на порядок больше по запасам, чем средние, а уникальные — на порядок больше крупных (табл.9)

Таблица 9

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
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, алуниты, карналлиты	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$
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	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$

При указанном подразделении к уникальным будут относиться единичные в мире месторождения, такие как КМА по железу, Никопольский и Чиатурский бассейны по мар-

ганцу, 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: В.И.Бергер(1982), В.К. Денисенко (1974), П.А.Строна (1977), И.Г. Павлова (1979–1981), М.З. Кантор (1981–1984), Д.В. Рундквист (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, 1982).

2. Возможность появления крупного месторождения определяется самой его формационной принадлежностью. Например, уникальные и крупные месторождения меди могут принадлежать к формациям медно-порфировой, медистых песчаников, сульфидной медно-никелевой; вольфрама к вольфрамо-кварц-полевошпатовой гумбеитовой и т. д. Дляодних 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 и т. д.

3. Формирование большинства крупных и всех уникальных месторождений связано с определенными этапами максимальной рудоносности соответствующего типа. Например, для территории стран СНГ известно существование определенных возрастных максимумов марганценакопления (P_3-N_1), фосфатонакопления ($V-C; K-P$), бокситонакопления ($D_3-C; K$), углеобразования ($C-P; J$), выделяются эпохи предпочтительного формирования грейзеновых вольфрам-молибденовых (C_3-P_1), силикатно-сульфидных оловорудных (K_2-P), стратиформных свинцово-цинковых ($PR_3; D_2$), медно-порфириновых ($C_3-P_{1, 2}; P-N$) 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, 1970; Рундквист и др., 1971, 1985; Денисенко, 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 определенные интервалы геологического времени — «рудоносные эпохи» — и обладают характерными признаками, указывающими на длительность их формирования.

4. 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 месторождений 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-порфировых 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 минералого-геохимические критерии должны использоваться в совокупности с геологическими, структурными, геофизическими и другими.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Возможные методы оценки прогнозных ресурсов определяются набором принципов, создающих научную основу такой оценки. Так на принципе вероятностного подобия базируется группа методов оценки прогнозных ресурсов по аналогии – как геологической, так и на основе количественной градации факторов - математические, экономические методы. Принцип обратной зависимости частоты встречаемости рудоносных объектов от их размеров позволил разработать группу методов, основанных на закономерностях ранговых рядов рудоносных объектов. Принцип взаимосвязи характеристик рассеяния и концентрации элементов лежит в основе многочисленных геохимических и геофизических методов. Наконец, наличие измеренных параметров среды и рудоносности позволяет применять прямые методы расчета количества прогнозных ресурсов.

Разнообразие методов оценки прогнозных ресурсов предопределяется также следующими обстоятельствами:

- принципиальной возможностью решения одной и той же задачи различными путями;
- отличием объектов оценки по иерархическому уровню (металлогенические 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.), генетических (осадочные, плутоногенные, вулканогенные, метаморфогенные, кор выветривания) и других особенностей.
- 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 ПК и соответствующего персонала);

— другими причинами объективного и субъективного характера.

Определяющими критериями при выборе методов оценки прогнозных ресурсов являются масштаб исследований, тип объекта оценки (рудоносная площадь того или иного иерархического уровня, геохимическая или геофизическая аномалия подтвержденной рудоносной природы, месторождение или рудопроявление), вид исходной информации (комплексная, специализированная, качественная, параметризованная и т.п.). Именно на основе такого подразделения оцениваемых объектов, а также в зависимости от природы самих методов (теоретические, эмпирические, статистические, прямые – фактографические и т.п.) могут быть предложены различные классификации методов оценки прогнозных ресурсов.

В данном руководстве приводится классификация методов по типу используемой информации (табл. 10), что позволяет более рационально охарактеризовать существо методов.

Основные методы оценки прогнозных ресурсов

Тип используемой информации		Способ обработки (анализа) исходных данных	Методы оценки прогнозных ресурсов	Предпочтительное применение на стадиях ГРП	Общий вид расчетной формулы	Примеры применения									
Комплексная	Непараметризованная и параметризованная	На основе опыта и интуиции специалистов	Геологическая, геохимическая, геофизическая, аэрокосмическая и др.	Проведение аналогии с эталонными объектами	Геологической аналогии	1–4	$Q=K \cdot q \cdot V'$	Быховер, 1971 и др.							
				Экспертная оценка параметров вмещающей среды или ресурсов и их статистическая обработка	Экспертные	Простых экспертиз Монте-Карло Дельфи	1–4	— $Q=a_0+a_1x_1+\dots+a_nx_n$	ВСЕГЕИ, Перваго, 1975 и др.; КазИМС; ВНИГРИ; Геол. службы Канады; США						
Специализированная	Параметризованная	На основании измерений	Геохимическая	Математическая обработка обычно с использованием ЭВМ	Математические (геологостат.)	Регрессионные	4–8	$Q_i=kQ_j$	Иванов, 1962; Бергер, 1978 и др.						
						Классификационные				Регрессионные Классификационные	1a	$Q=k \cdot Ck$	McKelvey, 1960; Овчинников, 1971 и др.		
						Корреляционный								По эквиваленту миграции элементов	$Q=k \frac{A}{Z}$
				Геохимические региональные	Регрессионный анализ по единичным параметрам	Кларковский	1a	$Q=k \cdot Ck$	McKelvey, 1960; Овчинников, 1971 и др.						
										По эквиваленту миграции элементов	$Q=k \frac{A}{Z}$	Булкин, 1984 и др.			
													Энергетический	$Q=\frac{E_{kk}}{\Delta E}=\frac{1/E_k}{K \ln K_k}$	Сафронов, 1976; Никитин, 1978; Булкин, 1984
				По крупнейшему месторождению	По ореолам рассеяния	$\ln Q=alnQ_m-\beta$	Булкин, Неженский, 1982								
								Геохимические	На основе моделирования гидротермальных систем	16–3	$Q=kQ_{\text{нор.}}$ $Q=f(C_\phi, \sigma)$	Плющев, Смыслов, Шатов, 1978 и др.			
				По геофизическим аномалиям	16–3	$Q=kA_{\phi}$	Соловов, 1970; Мишин, 1976 и др.								
Структурная	Использование симметрии в расположении рудоносных объектов	Структурно-геометрические	1–2					$Q=\sum Q_{ij}(N_i+N_j)$	Kutina, 1969; Денисенко, Лобков, 1979; Иванов, Лекеорова, 1981 и др.						
				Геолого-экономическая	Экстраполяция во времени и пространстве геолого-экономических показателей	Геолого-экономической экстраполяции	16–8			$Q(T)=\int_0^{T_0} \left(\frac{dQ}{dT}\right) dT$ $Q(H)=\int_0^{H_0} \left(\frac{dQ}{dH}\right) dH$	Cargill, Root, Beiley, 1980; Zapp, 1962; Булкин, Неженский, 1983 и др.				
По сложности геологического строения территорий	$Q=f(R)$	Богацкий, Суганов, 1968; Griffiths, 1978													
			По распределению содержания металла					4–8	$\ln Q_m=\frac{\alpha-\bar{C}}{\beta}$			Lasky, 1950; Agterberg, Divi, 1978; Башкиров, Попов, 1981 и др.			
Параметры вмещающей среды	Прямой расчет	Прямого расчета		По параметрам среды	16–3	$Q=k \cdot V'_{cp}$	Клемин, 1978 и др.								
			Параметры руденения					По параметрам руденения	5–8	$Q=\bar{C}_n \cdot d \cdot V'$ $V'=L, S, H$	Коннов, 1978 и др.				
Известные запасы месторождений и рудоносных площадей				Инвентаризационный	1–8	$Q=\sum_{j=1}^N Q_j \cdot N_j$	Общего применения								

Условные обозначения к Табл. 10.

Q — прогнозные (или общие) ресурсы территорий;
 Q_M — запасы месторождения; 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_j — 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_k — кларк, K_k — кларк концентрации, исходя из кондиций руд;

C_ϕ — фоновые содержания, C_n — промышленные содержания компонента;
 σ — дисперсия содержаний;
 E_{K_k} — общий расход энергии на образование руд градации K_k ;
 ΔE — расход энергии на образование единицы объема руды градации K_k ;
 k — коэффициент пропорциональности или подобия
 a_0, a_1, \dots, a_n — коэффициенты, характеризующие интенсивность проявления признаков;
 x_1, x_2, \dots, x_n — геологические, геофизические и другие признаки;
 α, β — коэффициенты уравнений связи;
 A_{rx} — условная интенсивность проявления геохимических аномалий;
 A_{rf} — условная интенсивность проявления геофизических аномалий;
 $\alpha \leq D$ — порог классификации;
 T — время освоения территорий (месторождений);
 H — объем горных работ, вкладываемые средства;
 R — показатель сложности геологического строения территории;
 λ, γ — постоянные рангового ряда.

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 структурно-формационный анализ. 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 определенные группы рудных формаций).

3. По группе признаков оцениваемые объекты относятся к тому или иному типу металлогенических зон. Еще раз подчеркнем, что в качестве определяющих выступают соответственно такие признаки, как ряды геологических формаций и геологические формации, служащие «определителем» 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 Быхова (1973), или близкой к ней:

$$Q = K \cdot q \cdot V, \quad (1)$$

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 учтенные 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 (коэффициент аналогии, или подобия K) геологического строения эталонной и оцениваемой территории, величина которых обычно определяется по нескольким признакам: степени сходства положительных и отрицательных 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 разведке 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/км^2 для большинства полезных ископаемых или в кг/км^2 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/км^3).

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. 11) получают исходя из геометрических пара

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

Рудные формации (в скобках металл, для которого рассчитана q)	Пределы колебаний значений q	Наиболее вероятные значения q	Вероятности
Железорудная кремнисто-гематитовая (Fe)	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^4$	0.6
Железорудная 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-редкометалльно – железорудная карбонатитовая (Fe)	$3 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0.7
Железорудная скарновая (Fe)	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0.6
Железорудная магнезио-ферритовая скарновая (Fe)	$4 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$	$(4 - 6) \cdot 10^4$	1
Апатит-железорудная (Fe)	$5 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4$	$(5 - 8) \cdot 10^4$	1
Железорудная кварцитовая, гематит-магнетитовый тип (Fe)	$4 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	0.6
Железорудная кварцитовая, магнетит-гематитовый тип (Fe)	$2 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$		1
Кор выветривания, маритовый тип (Fe)	$n \cdot 10^4 - n \cdot 10^5$	$(2 - 5) \cdot 10^5$	—
Кор выветривания, тип бурых железняков (Fe)	$n \cdot 10^3 - n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^4 - (1 - 2) \cdot 10^5$	—
Хромитовая с платиноидами (Cr)	$n \cdot 10^{2-3} - n \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	—
Медно-цинковая колчеданная (Cu)	$n \cdot 10 - 880$	$n \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	0.3
То же (Zn)	$n \cdot 10 - 500$	100 – 200	0.8
Медно-свинцово-цинковая колчеданная (Cu)	$n \cdot 10 - 400$	$n \cdot 10$	0.5
То же (Pb + Zn)	$n \cdot 10 - 1400$	100 – 200	—
Медистых песчаников (Cu)	$n \cdot 10 - 1500$	100 – 200	0.2
Медно-цинковая черносланцевая (Cu)	10 – 160	300 – 600	0.3
Сульфидная медно-никелевая (Ni), авлакогенный тип	450 – 4000	50 – 600	—
Сульфидная медно-никелевая (Ni), рифтогенный тип (в связи с габброверлитовой формацией)	$n \cdot 10 - 500$?	—
Сульфидная медно-никелевая (Ni), рифтогенный тип (в связи с перидотит-пироксенит-норитовой формацией)	$n \cdot 10 - 200$	400?	—
Сульфидная медно-никелевая (Ni)	$n - 1000$	100?	0.7
Медно-молибденовая порфирировая (Cu)	$n \cdot 10 - 900$	10	0.4
То же (Mo)	—	100 – 200	—
Медно-свинцово-цинковая (Pb + Zn)	$n \cdot 10 - 200$	7 – 9	0.8
Свинцово-цинковая карбонатная (Pb + Zn)	$n \cdot 10 - 400$	10	0.6
Железо-марганец-свинцово-цинковая (Pb + Zn)	500 – 1200	100 – 200	0.5
Ртутная опалитовая (Hg)	$n \cdot 0.01 - 2$	500 – 800	0.8
Ртутная листовитовая (Hg)	$n \cdot 0.01 - 4$	$n \cdot 0.1$	0.5
Ртутная аргиллизитовая карбонатная (Hg)	$n \cdot 0.01 - 6$	1 – 2	0.6
Ртутная аргиллизитовая терригенная (Hg)	$n \cdot 0.01 - 10$	$n \cdot 0.1$	0.5
Ртутная флюорит-сурьмяная джаспероидная (Hg)	$n \cdot 0.1 - n$	$n \cdot 0.1$	1
То же (Sb)	$n \cdot 0.1 - n \cdot 10$	—	—
Сурьмяная и вольфрамо-сурьмяная аргиллизитовая (Sb)	$n \cdot 0.1 - n \cdot 10$	$n \cdot 0.1$	0.7
Золото-сурьмяная березитовая (Sb)	$n \cdot 0.1 - n \cdot 10$	n	0.5
Сурьмяная сульфосольно-полисульфидная березитовая (Sb)	$n \cdot 0.1 - n \cdot 100$	n	—

Рудные формации (в скобках металл, для которого рассчитана q)	Пределы колебаний значений q	Наиболее вероятные значения q	Вероятности
Никелевая силикатная (Ni)	—	50 – 60	0.4
Вольфрамовая редкометаллическая грейзеновая (WO ₃)	$n \cdot 0.1 - 20$	n	0.6
Вольфрамовая скарновая (WO ₃)	$n \cdot 0.1 - 30$	n	0.5
Вольфрамовая гумбеитовая (WO ₃)	—	$n \cdot 10$	—
Касситеритовая силикатно-сульфидная (Sn)	3 – 7	—	1
Касситеритовая кварцевая (Sn)	2 – 28	—	0.75

метров 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 ($n \cdot 10\,000 \text{ км}^2$) и их удельной рудоносности можно указать их ожидаемые ресурсы (уровень металлогенического потенциала) на различные виды полезных ископаемых. Например, $n(100-1\,000)$ тыс. т WO₃ (в зависимости от ожидаемой рудной формации); $n \cdot 100$ тыс. т Sn, Sb; $n(1-10)$ млн т Cu, Zn, Pb; $n(10-1\,000)$ 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 (табл. 12). Вариации запасов руды в различных геолого-промышленных типах месторождений ограничиваются, как правило, собственными диапазонами, что позволяет скорректировать оценки, полученные через удельные рудоносности зон.

Удельная рудоносность рудных районов в общем на порядок и более выше удельной рудоносности металлогенических зон (см. рис. 1). 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_r) — площадь поверхности перспективной стратифицированной формации на доступных для освоения глубинах. В отсутствие эталонного рудного района предполагается использовать удельную площадную рудоносность, 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 (1979) при оценке прогнозных ресурсов олова рудных районов Дальнего Востока в качестве потенциально рудоносной рассматривал всю площадь рудных районов. При этом удельная рудоносность, рассчитанная по таким эталонным районам, как Комсомольский, Хинганский, Иппата-Мерекский, выражалась в числе месторождений на 100 км^2

Количественные модели основных геолого-промышленных типов месторождений цветных металлов.
По Д. Коксу и Д. Зингеру [25] с уточнениями и дополнительными пересчетами А. И. Кривцова

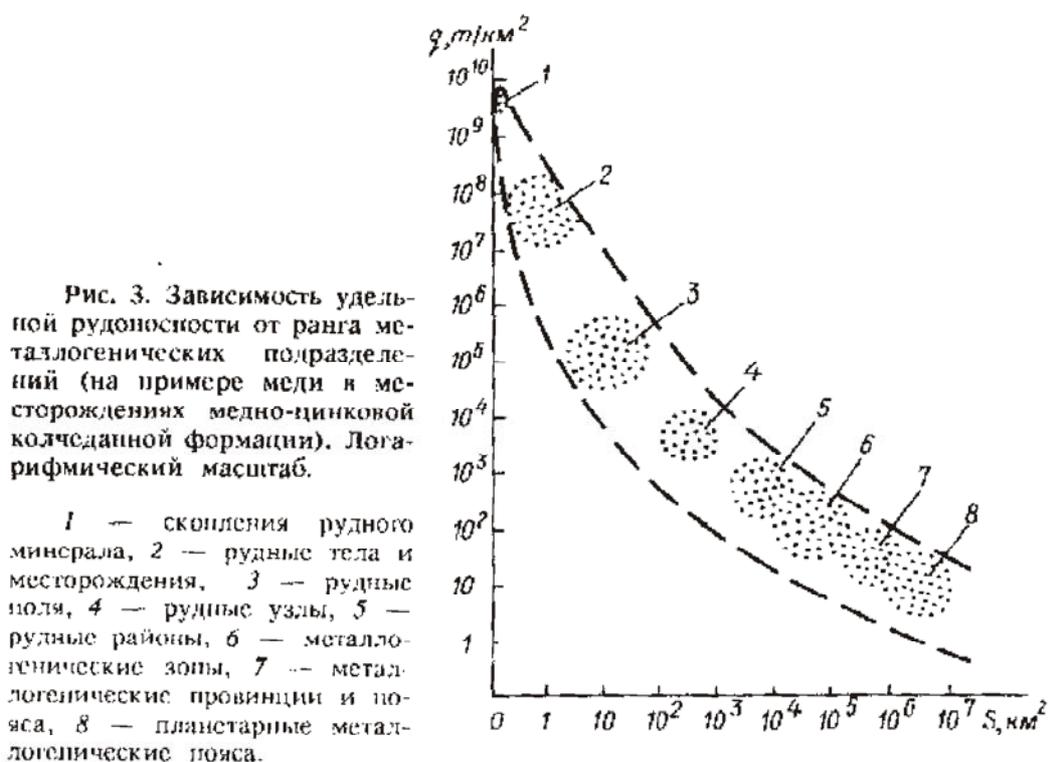
№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов); основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au, г/т)	Число объектов в выборке	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов			Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов, тыс. т (т)						
			В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке	В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке								
1.	Медно-порфировые (подтип Рут, США)	18	320	20	79.6											
	Cu	18									1.9	0.51	1.02	50:1 1:15 1:32000	810	
	Mo	18									0.022		0.02			17
	Ag	9									12		4.78			380.8
	Au	6									0.83		0.32			26.2
	Cu:Mo															
	Au:Ag															
Au:Cu																
2.	Молибден-меднопорфировые (подтип Бингхэм, США)	208	1100	19	144.2											
	Cu	208									0.94	0.31	0.53	44:1 1:14 1:44200	780	
	Mo	103									0.03		0.012			20
	Ag	76									2.6		1.65			238.2
	Au	81									0.4		0.12			17.3
	Cu:Mo															
	Au:Ag															
Au:Cu																
3.	Медно-молибден-порфировые (Бренда, США)	16	2100	120												
	Cu	16									0.69	0.26	0.41	20:1 1:120	2080	
	Mo	16									0.035	0.007	0.02			102
	Ag	16									4.2	0.36	1.20			611.2
	Au	16									0.043	0.0036	0.01			6.3
	Cu:Mo															
	Au:Ag															
Au:Cu																

№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов); основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au, г/т)	Число объектов в выборке	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов			Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов, тыс. т (т)
			В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке	В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке		
	Au:Ag Au:Cu								1:410000	
4.	Молибден-порфировые (подтип Эндано, Канада) Mo	33 33	569	16	94	0.13	0.055	0.085		80
5.	Молибден-порфировые (подтип Клаймакс, США) Mo	9 9	800	46	202	0.29	0.13	0.19		380
6.	Золото-меднопорфировые (Ок Теди, Папуа-Новая Гвинея) Cu Mo Ag Au Cu:Mo Au:Ag Cu:Au	40	400	25	100	0.72 0.007 4.0 0.72	0.35 0.2	0.50 0.003 1.58 0.38	166:1 1:4 13200:1	500 3 158 т 38 т
7.	Меднорудные скарновые (Коппер Каньон, США) Cu Ag Au Au:Ag Cu:Au	64 64 15 16	9.2	0.03	0.56	4.0 36.0 2.8	0.7	1.68 21.40 1.71	1:12 9800:1	9 12 т 0.95 т
8.	Медноколчеданные (кипрский тип) Cu Zn Pb Ag	49 49 16 3 15	17	0.1	1.27	3.9 2.1 33	0.63	1.59 0.79 0.05 12.68		20 10 600 т 16 т

№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов); основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au, г/т)	Число объектов в выборке	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов			Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов, тыс. т (т)
			В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке	В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке		
	Au Cu:Zn:Pb Au:Ag	15				1.9		0.90	32:16:1 1:14	1.2 т
9.	Медноколчеданные (тип Бесси, Япония) Cu Zn Ag Au Cu:Zn Au:Ag	44 44 14 14 14	3.8	0.012	0.22	3.3 0.4 9.5 0.76	0.64	1.46 0.56 7.86 0.34	2.6:1 1:23	3 1 1.7 т 0.07 т
10.	Медистые песчаники (Чамбиши, Замбия) Co Cu Ag Cu:Co	57 10 57 12	330	1.5	21.9	4.5 23	1.0	0.24 2.15 16.1	9:1	52 470 354 т
11.	Свинцово-цинковые скарновые (Саксбергет, Швеция) Cu Zn Pb Ag Au Cu:Zn:Pb Au:Ag Cu:Au	34 17 34 30 22 7	12	0.16	1.42	1.3 13.0 7.6 290 0.46	2.7 0.87	0.46 5.91 3.22 114.6 0.45	1:13:7 1:254 1020:1	6 84 45 162.7 т 0.64 т
12.	Жильные полиметаллические Zn	75 75 75	0.2	0.004	0.008	7.6 33.0	9	2.1 2.4		168 т 152 т

№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов); основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au, г/т)	Число объектов в выборке	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов			Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов, тыс. т (т)
			В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке	В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке		
	Pb Cu Ag Au Zn:Pb Au:Ag	75 75 75				0.89 4700 11.0	140	820 0.13	0.87:1 1:6300	6.6 т
13.	Колчеданно-полиметаллические (тип Куроко, Япония) Cu Zn Pb Ag Au Cu:Zn:Pb Au:Ag	432 432 330 184 284 238	18	0.12	1.49	3.5 1.9 8.7 100.0 2.3	0.45	1.26 2.81 0.75 28.8 0.78	1.7:3.7:1 1:37	20 40 10 43 т 1.2 т
14.	Колчеданно-полиметаллические в осадочных толщах (Салливан, Канада) Cu Zn Pb Ag Cu:Zn:Pb	45 11 45 45 37	130	1.7	14.7			0.18 5.65 2.78 43.3	1:30:15	27 830 410 636 т
15.	Свинцово-цинковые замещения (Вост. Тинтик, США) Cu Zn Pb	52 35 51 52 45	14	0.24	1.82	0.87 19.0 21.0 690	0.82 1.2	0.23 3.92 5.06 193.2		4 72 92 352.4 т

№ п/п	Типы месторождений (примеры объектов); основные рудообразующие элементы, % (Ag и Au, г/т)	Число объектов в выборке	Средние запасы руды, млн т			Средние содержания металлов			Отношения средних содержаний металлов	Средние запасы металлов, тыс. т (т)
			В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке	В 10% крупных объектов	В 90% объектов	В выборке		
	Ag Au Cu:Zn:Pb Au:Ag	35				4.4		0.71	1:17:22 1:272	1.3 т
16.	Свинцово-цинковые стратиформные в карбонатных толщах (Вайбурнум, США) Zn Pb Ag Zn:Pb	20 20 16 10			34.8			4.15 1.23 4.67	3.4:1	1450 430 162.7 т
17.	Свинцово-цинковые (тип Миссури) и цинковые (аппалачского типа) Zn Pb Ag Zn:Pb	20 20 20	540	2.2	35	12 3.6 19.0	1.4	4.0 0.87 0.48	4.6:1	1400 304 16.8 т
18.	Свинцово-цинковые в песчаниках (Лайсвалль, Швеция) Zn Pb Ag Zn:Pb	20 14 20 9	62	0.47	5.4	3.0 5.2 33	0.23 0.89	0.59 2.15 11.2	1:3.6	310 1200 13 т



площади. Она составляла 0,4–0,9 (в среднем — 0,7) месторождения на 100км^2 . Имеются в виду месторождения силикатно- и сульфидно-касситеритовой формации.

При оценке прогнозных ресурсов рудных полей иногда возможно применение помимо формулы (1) также формул прямого расчета по измеренным и предполагаемым по аналогии параметрам:

$$Q = KCdmS \text{ или } Q = KC \cdot d \cdot h \cdot S, \quad (2)$$

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

Параметры в формулах (1) и (2) 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.

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.

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., Гуревич., 1980). При геологическом прогнозе применяются главным образом два наиболее известных из них — Монте-Карло и Дельфи (Белонин., 1978; Бугаец, 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, Гуревич, 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 приемов уменьшается разброс индивидуальных оценок и получается групповой ответ, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта.

Метод Дельфи широко используется для долгосрочного прогнозирования в различных областях, причем существует множество его модификаций. Описание алгоритма работы по методу Дельфи 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 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.

Математические (статистические) методы

Статистические методы оценки прогнозных ресурсов применяются чаще при средних 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 предопределяться 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, минералогеохимической, геофизической, геоморфологической, аэрокосмической и другой информации. Выявление аналогии между эталонными и оцениваемыми территориями требует перебора большого количества признаков, а обоснованная оценка степени подобия по ним становится трудно достижимой без применения вычислительной техники (Бугаец, Дуденко, 1976; Методические рекомендации..., 1982; Бекжанов и др., 1987; Решение задач..., 2001; и др.). К настоящему времени общепринята трактовка основной задачи прогнозирования как задачи разработки оптимальной стратегии принятия решения в условиях неопределенности.

Основные содержательные задачи, решаемые при оценке прогнозных ресурсов (после выделения перспективных площадей), следующие (Методические рекомендации..., 1982; Решение задач..., 2001).

1. Обоснованный выбор эталонных площадей.
2. Описание объектов оценки и эталонных объектов характеристиками, 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 зависимостей 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, работу «Методические рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», 1982, содержащую указания по подготовке и обработке данных при количественном прогнозировании, специальное руководство для пользователей ПК «Решение задач прогноза полезных ископаемых с применением ГИС INTEGR0», 2001 .

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 [] (Бугаец, Дуденко 1976; Родионов, Коган, Белов 1979; Решение задач..., 2001; 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), $Y = \{y_i, i = \overline{1, m}\}$ — 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 относилась 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 [] в тех случаях, когда возможно разбиение объектов на классы по интервалам запасов.

Детермированные 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 или на основе специальных «мер близости», введенных Ю. А. Ворониным. 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 минимаксного (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 (Методические рекомендации..., 1982).

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, Гуревич, 1980. с. 26; Родионов., Коган, Белов, 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). 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), в которых при каждом X_1 — 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 (Методические рекомендации..., 1982).

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 прямо-

угольных 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

$$Q = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n,$$

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, Сиротинская, Дмитриев и др., 1975 и др.).

Детально техника многомерного регрессионного анализа применительно к геологическим объектам описана в ряде работ (Прохоров, Родионов, 1977; Родионов, Коган, Белов, 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. Агтерберга (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.

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 [с. 64] приводятся, например, такие соотношения ресурсов металлов: в зонах медно-колчеданного оруденения $Sb : Cu$ (1 : 100)–(1 : 1 000), колчеданно-полиметаллического — $Sb : Pb$ (1 : 30)–(1 : 100), золото-сурьмяного — $Au : Sb$ (1 : 1 000)–(1 : 10 000).

В качестве примера в табл. 13 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 автоматизированную обработку исходного материала на основе существующих или создаваемых информационных баз.

Автоматизация оценки прогнозных ресурсов предполагает автоматизацию всех ее этапов — сбор информации, подготовка ее к вводу в ПК, ввод, обработка с помощью соответствующих пакетов программ, вывод результатов и даже, в определенной мере их анализ. Работы в этом направлении проводились за рубежом (Ф.П.Агтерберг, А.Г. Фабри, Дж. Гриффитс, Д.П.Дерри, Д.А.Зингер, Д.Л. Мозес и др.) и в России (А. П. Куклин, А. Н. Бугаец, Л. Н. Дуденко, Р. М. Константинов, В. В. Марченко и др.).

**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	А	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	А	Основное рудное тело	11	0,62	0,65	0,97	0,009	0,016
6		Рудные тела: С1-С5	9	0,74*	0,73	1,00	0,088	0,009
7		С6-С9	7	-0,31	-0,36	0,99	-0,002	0,014
8		С10-С13	8	-0,75	-0,64	0,93	-0,012	0,016
9	Т	Основное рудное тело	19	0,36	0,40	0,89	0,014	0,026
10		Рудные тела С1-С4	13	0,36	-0,31	0,99	-0,012	0,018
11	Т	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	С	Известняки: массивные	10	0,19	0,17	0,99	-0,003	0,021
15		кремнисто-глинистые	4	0,99	0,97	0,99	0,029	0,013
16	Л	Южные рудные тела	12	-0,19	-0,18	0,99	-0,028	0,078
17		Северные рудные тела	5	-0,45	-0,87	0,58	-0,011	0,014
18	Л	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	А	От дайки диабазовых порфировитов: 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

Кларковый 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 — кларковый, по эквиваленту миграции элементов, энергетический и некоторые другие. При мелкомасштабном прогнозировании — наиболее детальном для данной группы методов — чаще применяется кларковый 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 кларки; 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 (ферсмы), а величина коэффициента K берется по аналогии с другими провинциями или для земной коры в целом из различных литературных источников. Например, Н. В. Никитин 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). Более полные и уточненные данные приведены в работе И.А. Неженского (1997). Различные исследователи связывают значения K для отдельных элементов с теми или иными их свойствами (Канищев, 1973, Смыслов [и др.]). Региональные кларки рассчитываются также по-разному. Так, при оценке кларковым методом ресурсов Канады по десяти цветным и редким металлам (Garett, 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 взаимнооднозначном 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.

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:

$$Q = d \cdot V \cdot C_{\text{ан}} \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где Q — ресурс рудного элемента, т; d — плотность пород водосборной площади, т/м³; V — объем пород в водосборной площади на заданную глубину, м³; $C_{\text{ан}}$ — 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 ($Q_{\text{пр}}$) в общем балансе ресурсов рудного элемента определяется из выражения

$$Q_{\text{пр}} = \sum_K^{K_{\text{п}}} K \cdot Q, \quad (4)$$

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 (1982) 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 (3).

3. Доля промышленных руд в общем балансе ресурсов определяется из выражения (4).

Методика В. С. Комарова и др. 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 точка 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) [Bjorklund, 1984].

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 $n \cdot 100 - n \cdot 1\,000 \text{ км}^2$. 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 промышленным; 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 ($C_{\text{м.ф.}}$) с региональным ($C_{\text{р.ф.}}$), что, однако, возможно лишь при надежном исключении систематических расхождений в результатах спектрального анализа. Ранжированный ряд отношений $C_{\text{м.ф.}}/C_{\text{р.ф.}}$ 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 $C_{\text{м.ф.}}/C_{\text{р.ф.}}$ представлен следующими элементами (по убыванию значений $C_{\text{м.ф.}}/C_{\text{р.ф.}}$):

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

Рудные месторождения элементов первой половины ряда, относящиеся по Н. В. Петровской к золото-сульфидной 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).

$$Q_i = 10^N C_k \quad (5)$$

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

$$P_i = 10^N C_{\phi_i} \quad (6)$$

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

Продуктивность рассчитывается, как

$$P_i = (C_{\text{ан}_i} - C_{\phi_i}) \cdot \Delta S = \sum \Delta C_i \cdot \Delta S \quad (7)$$

где ΔS — плотность опробования, $\text{км}^2/1$ 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

$$\Delta P_i = n \cdot 0,85^\delta \cdot \Delta S \quad (8)$$

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

На основе зависимости (7) 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 прогноз-ные ресурсы для каждого элемента на основе различных видов опробования, что снижает степень риска прогнозных оценок. В качестве примера можно рассмотреть ранжирован-ные (по N) ряды элементов по результатам литохимического (1) и гидрохимического (2) опробования для одного из районов Южной Якутии (результаты гидрохимического опро-бования приведены к результатам литохимического опробования пересчетом с учетом ре-гиональных 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, некоторое перераспределение халькофильных эле-ментов связано, вероятно, с особенностями их водной миграции, а также, возможно, от-ражает вертикальную зональность оруденения. В пределах изученной площади прогноз-ные 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 (6) делаются для отдельных аномальных участков, выделенных по результатам съемки. Про-цедура 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_i .

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

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

Определение прогнозных ресурсов рудных районов и узлов на основе литохимиче-ских съемок по потокам рассеяния по методике А. П. Соловова подробно описано в дей-ствующей инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений (Ме-тодические рекомендации..., 1979). Подсчеты ведутся по формуле

$$Q_H^1 = \frac{1}{K^1 K} \sum_{i=1}^m P_i \frac{1}{40} H, \quad (9)$$

где H — глубина подсчета запасов, выбранная по геологическим соображениям и на осно-ве элементного состава аномалии и представлений о вертикальной зональности, м;

P_i — устойчивые значения продуктивностей отдельных потоков рассеяния по смеж-ным 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 ко-

ренном залегании (P). В свою очередь, продуктивность отдельного потока рассчитывается, как

$$P^1 = S_x(C_x^1 - C_\phi^1), \quad (10)$$

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 , м².

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

$$P_x^1 = f(x) = \text{const}, \quad (11)$$

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 (11). А. П. Солововым и Ю. В. Шваровым (1980) предложена уточненная модель формирования литохимического потока, где истинное значение продуктивности определяется, как

$$P_{\text{ист}}^1 = \lambda \cdot P_{\text{max}}^1, \quad (12)$$

где λ — поправочный множитель, который определяется из выражения

$$\lambda = \frac{1 - S_{R_0} / S_R}{1 - (S_{R_0} / S_R)^\alpha}, \quad (13)$$

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 превалирующую 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.

$$P^1 = \sum (C_x^1 - C_\phi^1) \cdot \Delta S, \quad (14)$$

где ΔS — площадная густота сети опробования аллювия. Сравнительная оценка различных способов расчетов продуктивности потока показала, что отличия в значениях продуктивности, подсчитанной по формулам (6) и (8), 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 ,

$$\lim(C_{S_0} - C_{\Phi}) \rightarrow R^1(C_{S_0}^1 - C_{\Phi}^1),$$

что позволяет оценивать продуктивность узлов по упрощенной формуле

$$P = KK^1(C_{S_0} - C_{\Phi}^1) \cdot S_0, \quad (15)$$

где P —площадная продуктивность узла в $\text{м}^2 \cdot \%$; C_{S_0} — 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 (9) или по упрощенной формуле В. П. Бородин (15);
- 4) расчет прогнозных ресурсов по формуле (9).

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 (Методические рекомендации..., 1979), 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 $K_{\Pi} = 0,5-0,7$ (представляет собой отношение локальных золоторудных площадей к общей площади рудного узла).

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 и др., 1978). Нижним пределом площадей, на которых предполагаемая 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-спутников, если такие оценки могут представлять интерес. С использованием основной формулы теоретического распределения запасов по классам содержаний

$$P_k = \frac{100\%}{K_k} / e^{\alpha (K_k - 1)^n} \quad (16)$$

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 ($Q_{\text{пр}}$) территории определяются для различных со-

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

$$Q_{np} = \sum_{k=1}^n (P^T - P^{np}). \quad (17)$$

На рис. 2 приведена схема оценки потенциальной рудоносности площади по Н. И. Сафронову и др. (1978). Теоретическая формула (16) может быть уточнена за счет конкретизации эмпирических коэффициентов (α , n); так, например, при уточнении эмпирических коэффициентов для одного из оловорудных полей теоретическая зависимость (15) была преобразована в

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

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 удастся 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 (16).

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 опосредованной 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

Ошибка! Незвестный аргумент ключа.

Рис. 2. Схема оценки потенциальной рудоносности площадей.

Запасы: 1 — фактические, 2 — рассчитанные по теоретической формуле, 3 — перспективные.

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

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

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.). 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 и 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 оруденения 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 $I_{пр}/км^2$ или результатам площадных геохимических съемок масштаба 1 : 200 000 территория районирована 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 фонового металла. Геохимические ресурсы эпигенетического металла определяют с помощью метода крайгинга (Криге, 1978; Матерон, 1968; Ко-

лидак, 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.3), 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 1:50 000–1:10 000 процедура повторяется с изменением размеров (окна) фильтра.

Предложенная методика предпочтительна именно для крупных объектов крупного ранга — больших поисково-прогнозных мишеней (площадью $> 100 \text{ км}^2$), 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.

Крупномасштабные и локальные 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), комплексных литохимических и гидрохимических съемок (в слаборасчлененных 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 $n \cdot 1\ 000$ (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 опосредованного прогнозных ресурсов 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.

Рис. 3. 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 содержаний 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; Q_r — ресурсы геохимические, т; $Q_{пр}$ — ресурсы прогнозные, т; $C_б$ — бортовое содержание элемента, г/т; M — расстояние по профилю, м.

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. Поликарпочкина (Инструкция..., 1983; Дубов, 1974; Соловов, Матвеев, 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 содержаний каждого элемента в контуре ореолов в рыхлом покрове и коренном залегании.

$$(\bar{C}_x / \bar{C}_o)_{op} = K(\bar{C}_x / \bar{C}_o)_{p.m}, \quad (18)$$

где \bar{C}_x — среднее содержание рудного элемента во вторичном ореоле (*op*) или коренном залегании (*p. m*), \bar{C}_o — среднее содержание элемента репера во вторичном ореоле (*op*) или коренном залегании (*p. m*), 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 (Инструкция..., 1983). 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.

$$M_{op} = K' \cdot M_{p.t} \quad (19)$$

$$P_{op} = K' \cdot P_{p.t} \quad (20)$$

$$Q_{op} = K' \cdot Q_{p.t}, \quad (21)$$

где M_{op} — линейная продуктивность вторичного ореола, м. %; P_{op} —площадная продуктивность вторичного ореола, m^2 , %; Q_{op} —запасы металла во вторичном ореоле, т/м; $M_{p.t}$, $P_{p.t}$, $Q_{p.t}$ — 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 (18-21), 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 ее изученности. Наиболее реальным при решении этой задачи в настоящее время является метод прямых аналогий — сопоставле-

ние 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. Плющевым и В. В. Шатовым (1979).

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 месторождений, приведенный в инструкции по геохимическим методам поисков (Инструкция..., 1983).

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 (Григорян, Овчинников, 1968 и др.): $W_1, Be, As_1, Sn_1, Au \rightarrow U \rightarrow Mo \rightarrow \rightarrow Co \rightarrow Ni, Bi, W_2, Au_2 \rightarrow Cu_1, Zn, Yb, Sn_2, Ag \rightarrow Cd, Au_3, Cu_2, Hg, As_2, Sb, Ba$.

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 (\bar{Z}) и даются доверительные интервалы его оценки ($\pm \Delta Z$).

Подсчет прогнозных ресурсов слабо эродированного оруденения ведется по формуле, предложенной А. П. Соловым (1985):

$$Q = \frac{1}{40} P_{p.t} \cdot 0,8h,$$

где $P_{p.t}$ — 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

$$Q = \frac{1}{40} P_{p.t} \cdot 0,5h.$$

Решение второй задачи — разбраковка промышленного оруденения и ЗРМ — базируется на эмпирических закономерностях, установленных для зон рассеянной минерализации, которые сводятся к следующему: в строении ЗРМ отсутствует контраст-

ная 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.

$$P^1 = KP_{\text{ор}} = K'K''P_{\text{р.т}},$$

где P^1 — продуктивность потока, $\text{м}^2\%$; $P_{\text{ор}}$ — 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, подкрепленные результатами спектрального анализа повторно-контрольных, детализированных и штучных проб. Для подсчетов используется формула

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

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, $\text{м}^2 \cdot \%$.

Методика расчетов продуктивности потока P_i^1 подробно изложена в инструкции по геохимическим методам (Инструкция..., 1983). 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, 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 удастся определить только формационный тип рудной минерализации, используя для этого элементный состав вторичного ореола. Основой 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 (Проскураков 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 редкометального оруденения штокверкового типа (по А. Н. Мельгунову).

Особенностью размещения месторождений является их преимущественная приуроченность к надинтрузивным зонам куполов верхнепалеозойских гранитоидов акча-тауского комплекса. Основными элементами расчетной модели являются положение кровли интрузива и уровень эрозионного среза, степень накопления вольфрама и молибдена в пределах редкометальной зоны, а также площадь ее развития на поверхности. Последнее устанавливается на основе совокупности критериев, которые включают наличие

специализированных комплексов, распространение зон грейзенизации, контуры апикали интрузивов по геофизическим данным и т. д.

Предлагаемая модель определяет следующие расчетные параметры для оценки прогнозных ресурсов: 1) кларки концентрации (K_k^n) 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), установленного по обобщенной модели (рис.4); 4) коэффициент K , учитывающий уровень эрозионного среза и тенденцию изменения содержаний молибдена и вольфрама по вертикали (см. рис.).

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 (Инструкция..., 1983):

$$Q = \alpha \frac{1}{40} Ph, \quad (22)$$

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.

Для эталонного объекта:

$$\alpha = \frac{Q_m}{Q_s} \quad (23)$$

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

$$Q = \frac{1}{40} P_s h_s, \quad (24)$$

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

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

Подставим значения формул (23) и (24) в формулу (22):

$$Q = Q_m \frac{P}{P_s h_s}, \quad (25)$$

где P и h — соответствующие параметры оцениваемого объекта.

Продуктивность специализированных комплексов пород

$$P = \sum_1^n K_{k_n} \cdot S_n, \quad (26)$$

Рис. 4. Расчетная схема для оценки прогнозных ресурсов редкометалльным 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 фаций, 4 — аркозовые и полимиктовые песчаники, алевролиты и аргиллиты, 5 — график изменения содержаний WO_3 в надинтрузивной зоне, 6 — график изменения содержаний Mo в надинтрузивной зоне.

где n — количество специализированных комплексов пород в пределах продуктивной зоны.

Для эталонного месторождения

$$P_э = \sum_1^n K_{к_n} \cdot S_n. \quad (27)$$

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).

$$K = \frac{S_{уч}}{S_э}, \quad (28)$$

где $S_{уч}$ — площадь графика между линией АБ и кривой изменения содержаний (для вольфрама) до уровня эрозионного среза; $S_э$ — то же для эталонного месторождения.

Подставим значения формул (26) и (27) в формулу (25):

$$Q = Q_m \frac{h \sum_1^n K_{к_n} \cdot S_n}{h_э \sum_1^n K_{к_n} \cdot S_n}. \quad (29)$$

Значения кларков концентрации ($K_{к_n}$) могут быть получены на основе штучного опробования надинтрузивных зон, площади снимаются с карты, величины h , $h_э$ 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.

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. 14). 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. 5) 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.

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

Таблица 14

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

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

Рис. 5. График-диаграмма оценки оловянного оруденения. Поля аномалий:
а — перспективные, б — неперспективные.

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

а в направлении поперечного вектора — функцией

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

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.6. В пределах выделенного контура несложно рассчитать прогнозные ресурсы.

Изменение с глубиной значений площадной продуктивности (P_i) описывается уравнением

$$P_i = \frac{\pi}{\sqrt{\alpha, \beta}} \cdot C_i = e^{\gamma z^1} \left(P_0 + \frac{\pi}{\sqrt{\alpha, \beta}} \cdot C_i \right),$$

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. Первым методом 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 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 (Вострокнутов, 1982):

$$Z_{P_n} = \sum_{j=1}^k Z_{P_j} / \sqrt{\sum_{i,j=1}^k r_{ij}}$$

Рис. 6. 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 Z_{P_j} — единичная нормированная оценка рудоносности элемента j ; $j = 1, 2, \dots, k$ — номера элементов, r_{ij} — коэффициенты парной корреляции между элементами i и j (суммируются в матрице размером $K \times K$),

$$Z_{P_j} = (X_{P_j} - \bar{X}_j) / S_{x_j}$$

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

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

$$Q = P_0 \cdot P_j \cdot M_{P_j} \cdot K_j,$$

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_j — вероятность встречи в пределах данного объекта рудных концентраций металла j при заданном уровне содержания C_{P_j} ; M_{P_j} — прогнозируемая медианная концентрация металла j в руде при

заданном C_{P_j} ; K_j — эмпирический коэффициент соответствия прогнозных и разведанных ресурсов металла в рудах.

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

$$\lg M_{P_j} = Z_{M_j} \cdot S_{x_j} + X_j,$$

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

Вычисления прогнозных ресурсов могут производиться для разных уровней C_{P_j} , а также для различных доверительных интервалов надежности выборочных оценок статистик x_j и S_{x_j} . Получаемые при расчетах величины прогнозных ресурсов являются несмещенными оценками в связи с несмещенным характером X_j и S_{x_j} ; они в пределе сходятся (с учетом коэффициента K_j) 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, Питулько, 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 автоматизированную 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 не содержания, а запасы, то исследованию подвергается не сам частотный закон содержаний $P(C) = f(C) dC$, а функционально связанное с ним распределение $dM = F(m) dm$, 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 кондициях.

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 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 об еще не выявленных 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. 7) золотокварцевых месторождений Яно-Колымского пояса и по золотосеребряным месторождениям и проявлениям перивулканической зоны. Они показывают, что эти распределения обладают 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 градации параметра R , характеризующие уровень концентрации полезного компонента.

В практике поисково-разведочных работ на олово в районах Северо-Востока находит применение еще одна эмпирическая зависимость: «прогнозные ресурсы — комплексный геохимический показатель» (Приставка, 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 содержания элемента-индикатора выражается количеством информации, заключенной в данной градации содержания исследуемого элемента (Вентцель, 1969);

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

где $P(A_j/B_i)$ — вероятность встречи j -градации содержания элемента A для известных интервалов (участков) оловянного оруденения (B_i) — j -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 оловорудных тел достаточно учитывать 5–10 индикаторных элементов (олово, бор, серебро, вольфрам, медь, мышьяк, сурьма,

0 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.

Рис. 7. 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 — россыпи; б — структура запасов золота (усл. ед.) для этих объектов; в — структура запасов золота (усл. ед.) во вторичном ореоле золото-серебряного месторождения (Au_2), золота и мышьяка низкотемпературного золоторудного проявления (Au_1 и As_1) золота на участках: Скальном (весь узел) — Au_{III} , Спутник 2 — Au_{IV} и Уральский — Au_V .

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 (анalogии) 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 (Методические рекомендации..., 1979)

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

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. Используются шлейфы потоков рассеяния при $P = 0$:

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

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. 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 (Квятковский, Крицук, 1972):

$$Q = (C_i^1 - C_\phi^1) - K_1 \cdot \sum Q_m^P,$$

где Q_m^P — запасы металла в растворяющейся части рудных тел, расположенных в пределах водосборной площадки, м; Q — среднегодовой подземный или поверхностный сток с данной водосборной площадки, л/год; C_i^1 — среднегодовое содержание металла в подземных (поверхностных) водах аномальной водосборной площадки, мкг/л; C_ϕ^1 — фоновое содержание металла в водах района, мкг/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).

Е. В. Плющевым и В. В. Шатовым (1985) разработана **методика оценки прогнозных ресурсов рудных полей по данным геохимических исследований на основе региональной метасоматической зональности**. Она базируется на представлениях о сопряженности гидротермально-метасоматических образований пропилиито-березитовых систем. Считая эти системы условно замкнутыми, принимается, что количество металла, вынесенного из зоны пропилиитизации ($P^п$) примерно равно его количеству, привнесенному в зону березитизации ($P^б$). Оценки $P^п$ и $P^б$ 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:

$$0,01P^{п, б} < Q < 0,1 P^{п, б}$$

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 рудоконтроли-

рующих 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 геологических 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 (1) и др.

Для установления связи известных месторождений и рудопроявлений 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.

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 в 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 сланценакопление, 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 позво-

ляют выделять нескрытые и перекрытые объекты и тем самым повышать глубинность прогнозно-металлогенических исследований.

Технологические схемы использования геофизических материалов при изучении интрузивов, даек и жил, вулcano-тектонических 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 противных 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, 1984, 1986):

- 1) Анабарский региональный гравитационный максимум;
- 2) Вилуйская 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 алмазоносной провинции, вторая — Вилуйской 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, 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 невоскрывших 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 редкометальных рудных районов, в которых месторождения *Sn*, *W*, *Mo*, *Sn-W*, *W-Mo* ассоциируют с крупными (до 1 000–1 500 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 кровлей, 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 надинтрузивной зоне.

Для первой модели характерна убогая редкометальная 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 редкометальная минерализация. Масштабы проявления редкометальной 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 приурочено 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 Верхнегазимурская), 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 минимумах 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 2 000 км² и характеризующихся преимущественно отрицательными или слабо положительными магнитными полями. Рудные районы, выделенные по таким признакам, локализуются в Верхнеолекминской (пять районов), Амазарской (четыре района) и Верхнегазимурской (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 Верхнегазимурской 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, простирается соответствующим 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 ($N_x = 5$).

Определение прогнозных ресурсов при исследованиях масштаба 1 : 50 000 производится по материалам: 1) геофизических съемок масштаба 1 : 50 000 и крупнее, опережающих геолого-съёмочные работы; 2) поисковых геофизических работ тех же масштабов и 3) геофизических исследований, сопровождающих геолого-съёмочные 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: аэромагниторазведочных, аэроэлектро-разведочных, аэрорадиометрических и гравиразведочных, 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, и др., 1983). В благоприятных геологических условиях запасы сульфидных руд могут оцениваться количественной интерпретацией аномалий поляризации (Комаров, 1966). По данным гамма-съёмки оцениваются прогнозные ресурсы не только радиоактивного сырья, но и некоторых видов нерадиоактивного, например: тантала, ниобия, фосфора, редких земель и др., содержание которых также корректируется с интенсивностью гамма-поля (Вахромеев, 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 величин избыточной плотности $0,35 \text{ г/см}^3$ отвечали промышленным рудам флюорита и повышенной продуктивности вторичных ореолов рассеяния (Вахромеев, Дудко, 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 со-

противления, высокой поляризуемости пород, аномалий естественного электрического поля, интерпретаций гамма-аномалий. Так, по М. П. Русакову*, прогнозные ресурсы меди месторождений порфирирового типа в контуре геофизической аномалии площадью 1 км² 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 км². Для молибденовых месторождений штокверкового типа в качестве потенциальных крупных объектов можно рассматривать рудопоявления, характеризующиеся по геофизическим данным площадью ≈ 0,1 км (на картах масштаба 1 : 10 000 эти объекты вырисовываются примерно размерами 5 × 3 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 30–50 %.

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, 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 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 приконтактной 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 ($q_{\text{эт}}$, млн т/км²) оценивается как произведение среднего взвешенного содержания алюминия в рудах (\bar{C}) на коэффициент рудоносности зоны.

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

Коэффициент рудоносности зоны (k) определяется отношением площади проекции рудных тел на поверхность (S_T) к площади рудоносной зоны (S_3). Для нашего примера $k = S_T/S_3 = 0,15$. Считая глубину распространения рудных тел и зоны одинаковой, можно принять, что $k = 0,15$ и в объемном выражении. Тогда удельная продуктивность $q_{эТ} = 0,15 \cdot C$ 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 ($q_{эТ}$) 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 электротондирования, 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 магнитомо съемку, направленную на выявление непосредственно бокситоносных залежей в перспективной зоне или в ее отдельных участках.

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 отмечается 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 геолого-съёмочные 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 активационного 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 зарида, 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).

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, 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}_j , то приведенные выше закономерности в общем виде записываются как

$$Q_i = \frac{A}{N^\lambda} \quad (30)$$

$$\bar{Q}_j = \frac{B}{n^\gamma} \quad (31)$$

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

При анализе рядов типа (31) необходимо придерживаться четкого правила в ранжировании месторождений по запасам. Рекомендуется пользоваться десятичной классификацией, приведенной в табл., 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 подразделений, 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 прогнозные 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 прогнозные. 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 задавшись значением запасов минимального промышленно значимого месторождения (Q_0), можно подсчитать суммарные запасы территории (Q_{Σ}) по формуле

$$Q_{\Sigma} = Q_{\max} \ln \frac{Q_{\max}}{Q_0}. \quad (32)$$

4. Зная параметры ранговых рядов, можно определить ожидаемые соотношения числа месторождений различного ранга. Так, из формулы $\bar{Q}_j = \frac{Q_{\max}}{n\gamma}$ 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. 15). В пределах относительно хорошо изученной металлогенической провинции известно 10 редкометалльных месторождений полевошпат-гумбеитовой, грейзеновой, скарновой формаций. Ранжировав эти месторождения по запасам, получим эмпирический ранговый ряд месторождений с порядковыми номерами N_i^p (гр. 1 табл.) и запасами Q_i^p (гр.).

Вычислив произведения $Q_i^p \cdot N_i^p$ (гр. 3), находим, что максимальное произведение равно 1 700. Зная его, можно определить действительный порядковый номер каждого месторождения в полном («теоретическом») ранговом ряду — N_i^T (гр. 4), пропущенные номера месторождений (гр. 5) и запасы Q_i^T пропущенных (пока не известных) месторождений (гр. 6). Далее прогнозные ресурсы и общий потенциал металлогенической провинции можно определить двумя путями:

а) соответственно как сумму запасов неизвестных месторождений ($\sum Q_i^T = 2\,215$) — прогнозные ресурсы и сумму запасов известных месторождений ($\sum Q_i^p$) и неизвестных ($Q_\Sigma = \sum Q_i^p + \sum Q_i^T = 6\,050$) — общий потенциал провинции;

б) по формуле (32) определяем общий потенциал провинции: $Q_\Sigma = Q_{\max} \ln Q_{\max} / Q_0 = 5\,170$, а после вычитания из него запасов известных месторождений ($\sum Q_i^p = 3\,835$) получим прогнозные ресурсы $\sum Q_i^T = 1\,335$.

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 (30) 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 (31). Для этого прежде всего разобьем ранговый ряд типа (30) на классы, чтобы перейти к ряду типа (31). 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 1 000 ед. ($\bar{Q}_1 = 1\,000$). Во втором классе будет 18 месторождений ($n_2 = 18$) со средними запасами 170 ед. ($\bar{Q}_2 = 170$). Параметр γ определим из условия $\bar{Q}_j \cdot n_j^\alpha = \text{const}$. Для рассматриваемого случая можно записать:

Условный пример расчета металлогенических ресурсов вольфрама металлогенической провинции методом анализа рангового ряда известных месторождений

Порядковый номер месторождения в эмпирическом ранговом ряду, N_i^o	Запасы Q_i^o месторождения с номером N_i , усл.ед.	$Q_i^o \cdot N_i^o$	Порядковый номер месторождения в теоретическом ряду	Пропущенные номера в теоретическом ранговом ряду	Запасы пропущенных месторождений
1	1 700	1 700	1	4	425
2	800	1 600	2	5	340
3	500	1 500	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

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

т. е. $1\,000 \cdot 3^\gamma = 170 \cdot 18^\gamma$, откуда $1\,000/170 = (18/3)^\gamma$, $6 = 6^\gamma$, 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).

Покажем возможности применения этого метода для оценки прогнозных ресурсов месторождений по ранговым рядам рудных тел на конкретном примере, в качестве которого выбрано одно из свинцово-цинковых месторождений. Воспользуемся графическим способом анализа в системе логарифмических координат, исходя из условия $Q_i \cdot N = \text{const}$ (то есть исследуем ранговый ряд по запасам рудных тел Q_i , построенный по их номерам N).

На оси ординат (рис.8) 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 $Q_i \cdot N = \text{const}$). На рис. 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 тела, чем разведанные в настоящее время. Площадь внутри сплошной линии — суммарные запасы месторождения, известные по результатам разведки. Площадь между сплошной и прерывистой линиями — предполагаемая оценка прогнозных ресурсов месторождения. Отношение площадей — доли разведанных запасов среди общих запасов месторождения — характеризуется $\text{tg}\varphi$, φ — угол наклона линии реальных запасов. Тогда $\text{ctg}\varphi$ показывает, во сколько раз могут быть увеличены запасы (табл.16). Из рис. и табл. 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, прогнозные 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.

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, Неженский, 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

$$\ln Q = \alpha \ln Q_{\max} + \beta, \quad (33)$$

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

В табл. 17 приведены параметры связи Q и Q_{\max} для восьми металлов, полученные при анализе данных нескольких металлогенических провинций. Запасы провинции

Рис. 8. Ранговый ряд запасов рудных тел свинцово-цинкового месторождения. Запасы — в условных единицах. Масштаб — логарифмический.

Таблица 16

Прогнозная оценка запасов свинца и цинка по данным, приведенным на рис. 11

Условия оценки запасов	Число объектов	Какая часть металла разведана	Во сколько раз возможно увеличе-
------------------------	----------------	-------------------------------	----------------------------------

	группы	(tgφ)	ние запасов (ctgφ)
Свинец			
В общем по месторождению	35	0.700	1.43
Рудные тела:	33	0.649	1.54
крупные и средние	38	0.781	1.28
мелкие			
Цинк			
В общем по месторождению	23	0.424	2.36
Рудные тела:	38	0.781	1.28
крупные	18	0.324	3.07
средние	12	0.212	4.70
мелкие			

Таблица 17

**Коэффициенты корреляции и линейного уравнения регрессии
для некоторых металлов**

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

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

оконтуривание тел полезного ископаемого, выяснение их размеров и формы, особенностей залегания и внутреннего строения, природных и технологических типов и сортов полезного ископаемого, горнотехнических, инженерно-геологических, гидрогеологических и прочих природных факторов, влияющих на условия вскрытия и разработки месторождения.

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 значения коэффициента α возрастают, а β — падают. Между ними существует значимая ($r > 0,99$) связь:

$$\alpha = 1,00 - 0,062\beta. \quad (34)$$

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

$$\beta = 1,29 \cdot 10^5 C_k + 3,17. \quad (35)$$

Используя уравнение типа (30)–(31), 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. 16, то, согласно последнему уравнению, общие ресурсы провинции составят: $\ln Q_{\Sigma} = 0,90 \cdot \ln 1\,700 + 1,94$; $\ln Q_{\Sigma} = 0,904 \times 7,44 + 1,94 = 8,66$; $Q_{\Sigma} = 5\,768$ усл. ед.

Если сравнить полученный результат с приведенными выше оценками по ранговым рядам (6 050 и 5 170), то увидим, что он вполне укладывается в доверительный интервал, являясь промежуточным и, вероятно, наиболее точным из них.

Структурно-геометрический метод

Соответствие металлогенических зон структурно-формационным зонам предопределяет большую роль в их развитии граничных и секущих разрывных нарушений,

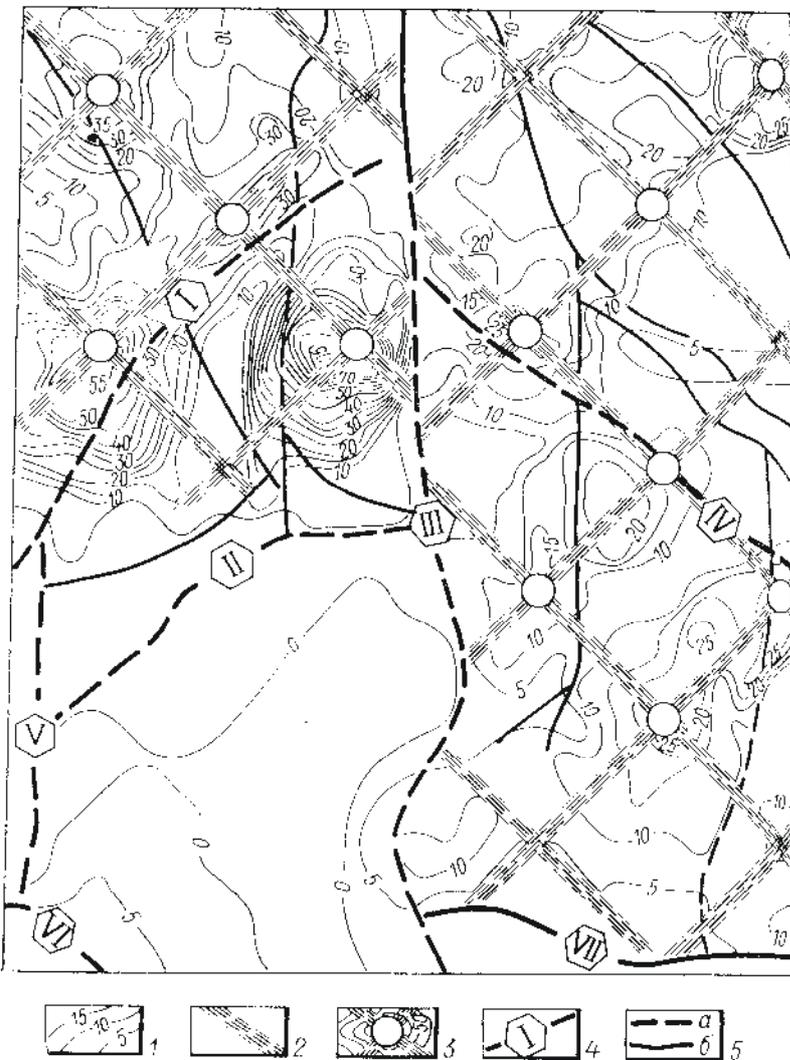


Рис. 28. Схема, иллюстрирующая геометрические закономерности распределения рудных объектов Северного Прибайкалья. По В. В. Кляшину [1975 г.].

1 — изолинии концентрации рудных объектов в условных значениях; 2 — линия «металлогенической решетки» — зоны повышенной проницаемости, скрытой трещиноватости, соединяющие центры концентрации рудных объектов; 3 — рудные узлы; 4 — основные глубинные разломы, разделяющие блоки (I — Кызылрайский, II — Кузакский, III — Центральнокзахастский, IV — Южно-Албастауский, V — Южно-Токтауский, VI — Бектаутинский, VII — Калмакэмельский); 5 — интублоковые разломы: а — по геофизическим данным, б — по геологическим данным.

о к оценке прогноз-
«жвальной» метод, на-

расположении рудо-
был изложен в рабо-
рсы полезных иско-
х и предполагаемых
й сети с шагом, пре-

ю так называемого
физических данных,
на и др. (1974), Л. Б.
ены металлогениче-
ключевые моменты

юв являются основ-
рующими размеще-
о Л. Б. Иванову и А.
олируются сквозны-
ниже порядок дисло-
ере Казахстана пока-
ональном металлог-
ности следуют через
ур. Изменение шага
мирового масштаба)
раженные на терри-
ана — 200–216 км; в
айонов — 20–22 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, 1978). В пределах этого региона распространены две основные системы рудо-контролирующих 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 $Q_{\text{п}}$ (как разность между общими ресурсами Q и уже известными $Q_{\text{и}}$)

$$Q_{\text{п}} = Q - Q_{\text{и}}; \quad Q = Q_{\text{к}} \cdot N + Q_{\text{с}}(Q_{\text{м}}) \cdot M,$$

где $Q_{\text{к}}$, $Q_{\text{с}}$, $Q_{\text{м}}$ — 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).

$$Q_{\text{и}} = Q_{\text{к}} \cdot N_{\text{и}} + Q_{\text{с}}(Q_{\text{м}}) \cdot M_{\text{и}},$$

где $N_{\text{и}}$ и $M_{\text{и}}$ — число известных крупных, средних и мелких рождений.

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, чем 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 ($K_{\text{вл}}$) для разведанных месторождений в Джидинской зоне колеблется от 1/300 до 1/100.

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

$$Q = Q_{\text{м}} \frac{S_{\text{р.з.}}}{S_{\text{р.п.}}} K_{\text{вл}},$$

где $Q_{\text{м}}$ — запасы мелких месторождений, $S_{\text{р.з.}}$ — общая площадь линейных отрезков рудных зон, $S_{\text{р.п.}}$ — 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 рудо-контролирующих 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.

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, 1974 и др.).

Общий вид кривой, описывающей количество запасов (Q) в зависимости, например, от объема бурения (H) будет

$$Q(H) = \int_e^H \left(\frac{dQ}{dH} \right) dH .$$

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:

$$\left(\frac{dQ}{dH} \right)_H = \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 e^{-aH} , \quad (36)$$

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 (36). Затем, интегрируя его от объема бурения H до бесконечно большого объема (∞), получим оценку прироста запасов

$$Q_\infty = \int_H^\infty \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 e^{-aH} = - \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 \frac{e^{-aH}}{a} \Big|_0^\infty = \left(\frac{dQ}{dH} \right)_0 \frac{1}{a} . \quad (37)$$

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 (35) находим, что показатель экспоненты $a = 1,15 \cdot 10^{-1} \text{ м}^{-1}$. Используя эти данные, по формуле (35), проинтегрированной от 0 до H , находим, что на 1974 г запасы составляют

$$Q_H = \frac{0,1337}{1,15 \cdot 10^{-6}} \left(e^{-1,15 \cdot 10^{-6} \cdot 7,91 \cdot 10^5} - 1 \right) = 69,52 \text{ усл. ед.}$$

По (36) получаем оценку прогнозных ресурсов

$$Q = \frac{0,1337}{1,15 \cdot 10^{-6}} \left(e^{-1,15 \cdot 10^{-6} \cdot 7,91 \cdot 10^5} \right) = 46,81 \text{ усл. ед.}$$

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.

Метод оценки по сложности и разнообразию геологического строения территорий

Теоретически установлено, что сложность и разнообразие геологического строения региона определяют суммарные масштабы комплекса полезных ископаемых в его пределах. Это положение подтверждено эмпирически для железорудных месторождений Красноярского края, месторождений цветных, редких и благородных металлов Центрального Казахстана, рудных объектов восточной части Главного Кавказского хребта, комплекса месторождений полезных ископаемых США и др.

Конкретный вид взаимосвязи в значительной мере зависит от методики количественного определения сложности и разнообразия строения, от масштаба исследования, размера элементарной ячейки, от зональности расположения объектов и др. Например, по данным для территории США, Пуэрто-Рико, Новой Зеландии, Замбии, Зимбабве, Малайзии и ЮАР (Habbert, 1974) между разнообразием y видов полезных ископаемых и числом x хронологическо-петрографических классов горных пород установлена линейная связь:

$$y = 12,277 + 1,846 x.$$

Впервые пространственно-статистический анализ сложности геологического строения в целях металлогенического прогнозирования был сделан в работе В.В.Богацкого и Б.И.Суганова. (1968). В основе анализа использовалась сводная геологическая карта масштаба 1:500 000. За меру сложности принят так называемый показатель сложности геологического строения (ПСГС), равный числу геологических образований, приходящихся на площадь, избранную в качестве единицы исследования («черпак»).

Такой единицей для юга Средней Сибири был взят стандартный лист масштаба 1:25 000 с площадью 76 км². При оценке ПСГС подсчитывалось общее число петрографических разновидностей пород, их возрастных подразделений и разломов. Признак оценивался в 1 балл, а ПСГС определялся суммированием признаков. Например, если на элементарной площади фиксируются: карбонатные породы (1 балл) нижнего – среднего кембрия (2 балла); девонская (1 балл) интрузия гранитов (1 балл) и один разлом (1 балл), то ПСГС равен 6 баллам. Следовательно, ПСГС – количество информации, отнесенной к единице площади геологической карты.

Численные значения ПСГС наносились на карту масштаба 1: 500 000 и преобразовывались в систему изолиний. В результате была получена схема сложности строения в изолиниях, позволяющая судить о тенденциях изменения сложности на изучаемой террито-

рии. Анализ схемы не только показывает общеизвестные особенности геологического строения, но и позволяет открыть дополнительные особенности региона, т.е. содействует его геолого-структурному районированию.

По той же сети (элементарная единица площади 76 км^2) исследовался ПСГС с целью количественной оценки изменчивости эндогенного оруденения железа в Кузнецком Алатау. Месторождения и рудопроявления магнетита тоже нанесены на схему ПСГС, где определены три района площадной локализации руд. Совместный анализ схем сложности геологического строения и количественной изменчивости железного оруденения показал, что магнетитовое оруденение на восточном склоне Кузнецкого Алатау сосредоточено в районах, ПСГС которых выше среднего значения сложности (5 баллов). Это подтверждает замеченную практикой закономерную приуроченность месторождений железа к районам высокой геологической сложности, что и может использоваться для выделения участков, перспективных для открытия магнетитовых месторождений. Большинство участков совпадает с установленными и по другим методам прогнозирования (рис.11).

Можно ожидать, что между сложностью геологического строения и величиной запасов также существует положительная связь. Ее выявление требует в первую очередь объективности в оценке сложности, что при методике В.В.Богацкого и Б.И.Суганова не достигается. Это прежде всего видно по тому, что конфигурация полей сложности полностью определяется размерами элементарной единицы площади. При ее размерах 76 м^2 среднее значение ПСГС равно 5 баллам, дисперсия 2 балла, размах сложности – от 1 до 14; при 25 км^2 те же величины соответственно равны 2,1 и 1-5 баллов. Схема сложности в последнем случае содержит большую неопределенность и непригодна для целей прогнозирования в условиях региона.

Таким образом, хотя связь сложности и минеральных ресурсов в целом здесь подтвердилась, но широкое использование этой связи на практике задерживается из-за неразработанности способов измерения сложности, а также из-за сдвига части месторождений в сторону от порождающего их блока.

Метод оценки по модели распределения содержаний металлов.

С помощью моделей распределения содержаний полезного компонента в рудах и вмещающих горных породах находятся соотношения либо между балансовыми и забалансовыми запасами месторождения, либо между эмпирическим распределением содержаний и его теоретической моделью. В качестве теоретической модели используется нормальная, логнормальная или экспоненциальная кривая (статистический подход) либо кривая, рассчитываемая на основе энергии рудообразования и закона Больцмана (физический подход). Соотношение запасов при разных бортовых содержаниях можно находить и непосредственно на эмпирической кривой для того же объекта. Знание реальных запасов и подсчитанные соотношения позволяет определять прогнозные ресурсы.

В качестве примера укажем на расчеты распределения запасов олова в кварц-касситеритовых рудах при различных содержаниях продуктивного металла Сафронов, 1977 (с.173). Расчеты сделаны на основе термодинамической модели энергии рудообразования в предположении его изотермических условий. Аппроксимирующая кривая распределения запасов имеет вид.

$$P_k = 12\,980 / [c' \exp(0,029\sqrt{c' - 1})],$$

где P_k – запасы олова (усл. ед.) при условном содержании c' кларков; 12 980 – запасы олова при содержании 0,03% ($c' = 1$); запасы олова при содержании 78,4% равны единице.

По разнице эмпирического и теоретического распределений олова получена оценка его прогнозных ресурсов.

Применяется метод главным образом в локальном масштабе для определения прогнозных ресурсов категории P_1 , иногда и P_2 . Пригоден для контроля прогнозных оценок в этих

условиях. Главная трудность – это выбор статистической модели распределения содержаний и низкая точность в области рудных содержаний.

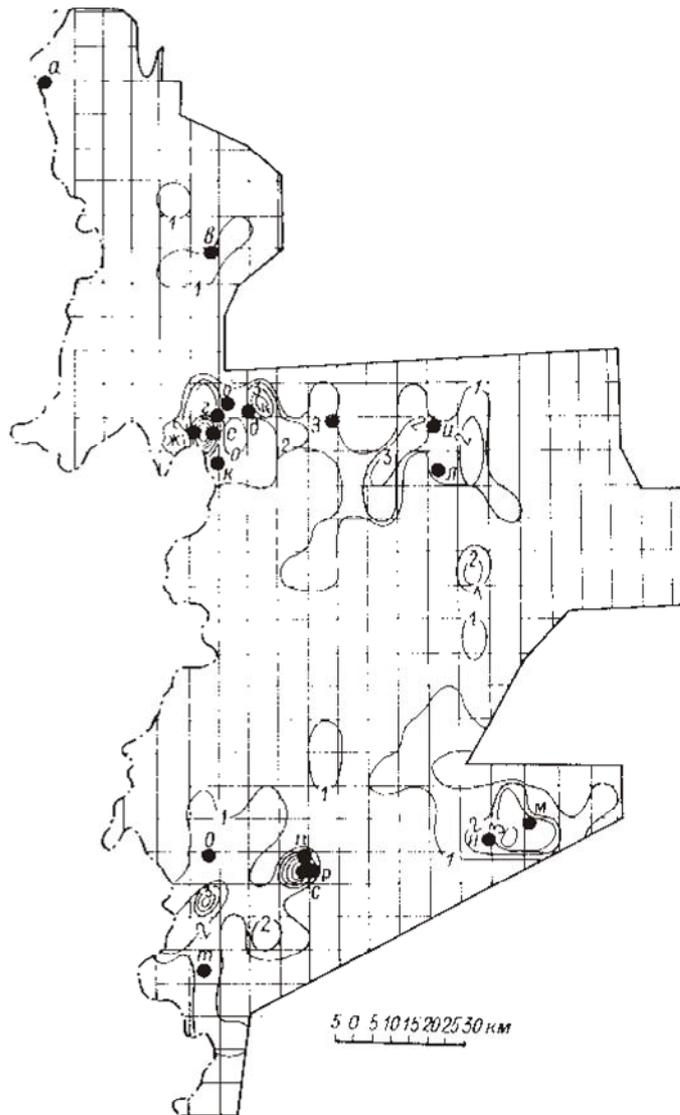


Рис. 33. Схема количественной изменчивости эндогенного магнетитового оруденения восточного склона Кузнецкого Алатау в изолиниях. По В. В. Богацкому [1968 г.].

Месторождения: а – Урючье, б – Верхнесаралинское, в – Торчинское, г – Тургайское, д – Сыстыкжуйское, е – Никольское, ж – Славское, з – Туктужуйское, и – Симеон, к – Калюстровское, л – Дорожное, м – Камыштинское, н – Кара-Сибас, о – Пзык-Гол, п – Хайлеол.

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. Я. Жидковым (1989) 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 случаю, когда рудой является сама горная порода, имеющая определенный минералогический 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 ультракалиевые алюмосиликатные 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 фельдшпатоидно-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 $5 \cdot 10 \text{ км}^2$.

Несмотря на ограниченность известных объектов (четыре рудоносных массива: Сыннырский, Сакунский, 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 сынныритов, т; S_x — площадь распространения на дневной поверхности салических фельдшпатоидных и других щелочных сиенитов в прогнозируемом контуре массива, м^2 ; h_x — максимальная глубина распространения рудоносных пород, установленная по естественным выходам, в слаборасчлененных 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 сынныритоносности, 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 сыннырите: 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 — Сыннырского 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 $S_x = 450 \text{ млн м}^2$ — площадь распространения фельдшпатоидных сиенитов; $h = 300 \text{ м}$ — средняя глубина естественного вскрытия массива; $C_c = 0,1$ берется максимальным, как для типового эталонного объекта; $d = 2,6$

г/см³ — средняя плотность пород. С учетом этих исходных данных находим оценку массива по P_3 : $Q_x = 0,2 \cdot 450\,000\,000 \cdot 300 \cdot 0,1 \cdot 2,6 = 7,020$ млрд т ультравысококалиевого алюмосиликатного сырья. Заметим, что только один из наиболее перспективных участков этого массива, где проведены детальные поиски, оценивается почти в 3 млрд т сынныритов.

Из приведенного обзора видно, что одни методы являются «сквозными», применяемыми на всех стадиях геологоразведочных работ (анalogии, 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 территории проводится интегральным или дифференциальным путем или комбинацией 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.

Следует отметить, что при существующей системе учета прогнозных ресурсов, когда их оценки фиксируются как точечные, достоверность оценок, связанная с погрешностями исходных параметров, расчетов и множеством иных факторов, остается неясной и учитывается лишь косвенно, путем указания категоричности ресурсов. Между тем различные методы оценки прогнозных ресурсов позволяют определять интервальные оценки с указанием минимально, максимально возможной и наиболее вероятной оценки. Например, такую возможность предоставляют при использовании метода аналогии приведенные в табл. 10 интервальные и наиболее вероятные значения удельной рудоносности. Количественному определению достоверности прогнозных оценок, их наиболее вероятных значений в наибольшей мере способствуют математические (формальные) методы. Однако теоретические и эмпирические подходы также позволяют это сделать на неформальной (научной, эмпирической) основе (Неженский и др., 1990).

ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ РУДОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО УРОВНЯ. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ

Вопросы комплексирования рассмотренных методов обсуждаются далее применительно к конкретным объектам оценки прогнозных ресурсов – металлогеническим провинциям, зонам, рудным районам, полям, перспективным участкам и, следовательно, к различным этапам и стадиям ГРП. Такой подход отражен в табл. 18, в которой методы оценки сгруппированы в зависимости от масштабов исследований (т.е. этапов и стадий ГРП) и объектов оценки.

Оценка металлогенических ресурсов металлогенических провинций (крупных регионов) по результатам обзорных и сводных работ общегеологического и металлогенического назначения (этап 1) масштаба 1:2 500 000 и мельче 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, 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. Среди эмпирических методов оценки металлогенического потенциала при данном масштабе исследований, как и при исследованиях любого масштаба, наиболее приемлемым является метод аналогии. 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 особое значение приобретает метод ранговых рядов, 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 недоизученностью (недоразведкой) известных или с теми и другими обстоятельствами.

Практически во всех металлогенических провинциях имеются более локальные объекты (металлогенические зоны, рудные районы и поля, месторождения полезных

Комплексирование методов оценки прогнозных ресурсов

Масштабы исследований и стадии геологоразведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта	Методы оценки прогнозных ресурсов (шрифтом выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
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)	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	
Мелкий. Региональные геолого-геофизические 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	Аналогии	Удельная рудоносность; площадь выхода перспективных рядов формаций; глубина оценки; коэффициенты подобия	Расчеты по эталонным территориям, металлогенические и прогнозные карты	Минералогенические ресурсы (металлогенический потенциал)
				Экспертные	Оценки ресурсов или параметров рудоносности, даваемые экспертом	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
				Ранговых рядов	Запасы известных месторождений	Опубликованные и фондовые источники	
				По крупному месторождению	Запасы крупнейшего месторождения, эмпирические коэффициенты уравнения связи	То же	
				Структурно-геометрический	Узлы пересечения разломов	Геолого-тектонические, металлогенические карты, «достройка» сети разломов	
				Кларковский	Региональные кларки, коэффициенты перевода геохимических ресурсов в промышленные	Литературные и фондовые материалы, расчеты	
Средний. Региональные геофизические, геолого-съемочные 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	Аналогий	Удельная рудоносность; площадь выхода перспективных формаций или структур; глубина оценки; коэффициенты подобия	Расчеты по эталонным рудным районам, металлогенические и прогнозные карты	Р ₃
				Экспертные	Оценки ресурсов или параметров рудоносности, даваемые экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	

Масштабы исследований и стадии геологоразведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта	Методы оценки прогнозных ресурсов (шрифтом выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
				<p>Геохимические</p> <p>Данные опробования первичных и вторичных ореолов минерализации, параметры ореолов, их продуктивность, коэффициенты перехода между геохимическими и промышленными запасами, статистики распределения содержаний – металлов в ореолах (средние, дисперсии и др.)</p>		Опробование, геохимические карты, коэффициенты перехода (по аналогии с другими районами, экспертная оценка)	
				<p>Геофизические</p> <p>Параметры интенсивности геофизических аномалий, пространственные параметры аномалий, коэффициенты перехода между интенсивностью аномалий и промышленными ресурсами</p>		Геофизические измерения, геофизические карты	
				<p>Статистические</p> <p>Интенсивность проявления геологических признаков (факторов) и оруденения</p>		Снятие информации с карт (часто по равновеликим площадям), опробование, измерения	
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.)	<p>Аналогий</p>	Удельная рудоносность; площадь выхода перспективной ассоциации пород, рудоконтролирующей структуры; глубина оценки; коэффициент подобия	Расчеты по эталонным рудным полям, измерения, экспертиза	P ₂
				<p>Экспертной оценки</p>	Оценки ресурсов, данные экспертами	Опрос, анкетирование, статистическая обработка	
				<p>Статистические</p>	Интенсивность проявления (площадь, объем, длина, плотность) геологических признаков и известной рудоносности	Обычно снятие информации с карт по равновеликим ячейкам, опробование, измерения	
				<p>Ранговых рядов рудных тел</p>	Запасы известных рудных тел	Прямые и косвенные расчеты ресурсов известных рудных тел	
				<p>Геолого-экономической экстраполяции</p>	Скорость бурения, вложение средств; время освоения	Анализ экономических характеристик разведки — фондовые материалы	

Масштабы исследований и стадии геологоразведочных работ	Объекты оценки прогнозных ресурсов	Тип используемой информации при выделении объекта	Признаки объекта	Методы оценки прогнозных ресурсов (шрифтом выделены основные)	Основные оценочные параметры	Способы (источники) получения оценочных параметров	Категории прогнозных ресурсов
	Перспективные участки, выраженные в геохимических аномалиях			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)	
			Минеральный, минералого-морфологический, геолого-промышленный тип	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	
	Рудопроявления			Аналогий	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 содержания полезного компонента	Данные опробования рудных тел и ореолов рассеяния	Опробование, фондовые материалы	

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).

Оценка металлогенических и прогнозных ресурсов металлогенических зон по результатам региональных геолого-геофизических исследований масштаба 1:1 000 000 – 1: 500 000

Работы по региональному изучению геологического строения территории России (этап 1, стадия 1) включают в себя 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 P_3 и металлогенический потенциал.

Металлогеническим зонам свойственен ряд особенностей, предопределяющих предпочтительные методы их прогнозной оценки. Они представляют собой образования одной или нескольких завершенных стадий тектономагматического (седиментационного) цикла и могут рассматриваться как целостные структуры, для которых проведена их типизация (Рудоносность...,1981). 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. табл.6).

Для структур рассматриваемого иерархического уровня в отличие от металлогенических провинций 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.

Оценка прогнозных ресурсов рудных районов по результатам региональных работ масштаба 1:200 000 .

При геолого-геофизических и прогнозно-металлогенических исследованиях масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000) (этап 1, стадия 1) выделяются металлогенические объекты в ранге рудных районов, а прогнозные ресурсы относятся к категории P_3 . Прогнозные ресурсы категории P_3 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 ме-

нее 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 P_3 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 P_3 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), выносится решение 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 геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 и общих поисков.

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.

При соответствующей геоморфологической обстановке и типе оцениваемого объекта для контроля оценки прогнозных ресурсов по аналогии используются результаты средне-масштабных геохимических и геофизических исследований. Как и в других случаях, в

этом масштабе могут быть использованы и различные модификации экспертных методов оценки.

Оценка прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений по результатам геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000

На выявленных при геологической съёмке масштаба 1 : 50 000 (этап 1, стадия 1) 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 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» (Харченко, 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.

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, рудопроявление).

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.

Оценка прогнозных ресурсов перспективных участков и рудопроявлений по результатам поисковых работ

Поиски (этап II, стадия 2) 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, шлиховые ореолы, коры выветривания, наиболее перспективные фрагменты продуктивных структур, горизонтов и комплексов пород, околорудные 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.

Оценка прогнозных ресурсов по результатам оценочных работ

Оценочные работы (этап II, стадия 2) планируются и проводятся на участках проявлений полезного ископаемого, обнаруженных в результате поисков и получивших положительную геолого-экономическую оценку по их завершении. Основная цель оценочных работ состоит в отбраковке 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 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, минерации 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 простираения, количестве и качестве ресурсов.

Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 производится на следующих объектах:

выявленных и частично разведанных по категории C_2 телах 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 металлометрическими 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 ис-

копаемые. Значение 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 горнотехнические 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.

Оценка прогнозных ресурсов по результатам разведки месторождений

Специальные работы по выявлению прогнозных ресурсов на стадиях разведочных работ не производятся. Тем не менее, при предварительной разведке 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 .

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.

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Постановке на учет подлежат только те прогнозные ресурсы, использование которых экономически целесообразно и технически осуществимо в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе. Практическая значимость прогнозных ресурсов устанавливается по результатам их геолого-экономической оценки. Геолого-экономическая оценка включает в себя геологическое и экономическое обоснование промышленного значения локализованных ресурсов.

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов производится путем выполнения укрупненных технико-экономических расчетов по аналогии с параметрами эксплуатируемых месторождений.

При оценке металлогенического потенциала приводятся сведения об ожидаемых типах месторождений с указанием отечественных или зарубежных аналогов и возможных масштабов объектов.

Прогнозные ресурсы категории P_3 получают положительную экономическую оценку, если совокупность геологических факторов свидетельствует о возможности открытия на территории прогноза промышленно значимых месторождений. Экономическая целесообразность учета ресурсов определяется, исходя из параметров ожидаемых месторождений с учетом того, что они должны быть не меньше по размеру и не хуже по качеству, чем месторождения, которые можно считать представляющими практический интерес в условиях рассматриваемого района. Как правило, для оценки ресурсов категории P_3 прямые экономические расчеты не применяются, а используется метод аналогии с обоснованием правомерности его применения.

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов категории P_2 производится либо по аналогии с разведанными и оцененными месторождениями, расположенными в том же районе, с учетом оценочных кондиций либо с помощью укрупненных технико-экономических показателей для прогнозируемого объекта с учетом его геолого-промышленного типа, возможных масштабов, качества руд, способа отработки, географо-экономических условий района (приложение 4).

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов категории P_1 проводится с использованием принципов и подходов, применяемых к оценке разведанных запасов полезных ископаемых (приложение 4, табл. 19):

- на перспективных участках и рудопоявлениях, на которых производятся поисковые или оценочные работы (на потенциальных месторождениях), экономическая значимость прогнозных ресурсов оценивается по результатам укрупненного расчета ожидаемых показателей освоения месторождения;
- на разведанных резервных месторождениях - в соответствии с параметрами технико-экономических показателей, определяемых с учетом географо-экономического положения месторождения и существующей на период проведения оценки конъюнктуры данного вида минерального сырья;
- на оцениваемых и подготавливаемых к разработке месторождениях – ориентируясь на количество и качество сырья, удовлетворяющего требованиям кондиций;
- на эксплуатируемых месторождениях – по технико-экономическим показателям, прошедшим экспертизу в ГКЗ.

-

СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В НЕДРАХ

Стоимостная оценка прогнозных ресурсов и запасов полезных ископаемых в пределах выделенных по результатам межстадийного и сопутствующего металлогенического (минерагенического) анализа и геологоразведочных работ (ГРР) перспективных площадей и месторождений является необходимым логическим звеном в последовательности: выявление закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых – установление рудоконтролирующих факторов - формулирование критериев нахождения рудоносных объектов различного ранга – выделение рудоносных объектов – их геолого-экономическая оценка, в том числе оценка их стоимости – постановка дальнейших ГРР – разработка месторождений. Предлагаемые методические рекомендации предназначены для укрупненной экспрессивной оценки стоимости минерального сырья в недрах при региональных средне- и крупномасштабных металлогенических исследованиях и прогнозно-поисковых работах, а также при работах по составлению государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000, 1:200 000, 1:50 000. Стоимостная оценка запасов полезных ископаемых и прогнозных ресурсов в недрах месторождений и перспективных площадей, являющаяся составной частью геолого-экономической оценки рудоносных объектов различного ранга, при металлогенических исследованиях имеет свою специфику, что и вызывает необходимость составления специальных рекомендаций.

В настоящее время общепринятым является положение о том, что в рыночных условиях стоимостная оценка месторождения базируется на величине ожидаемой прибыли, которая может быть получена в результате будущей эксплуатации рудника. Её величина, как правило, определяется с учетом фактора времени. Принципы и методы такой оценки при поисково-оценочных работах, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых достаточно проработаны и отражены в различных методических рекомендациях и указаниях, обзорах, статьях и монографиях (Алискеров, Заверткин, 1998; Временные..., 1998; Методика..., 1996; Чайников, 1994; и др.). В этих работах показывается, что в основе экономической оценки месторождений лежат технико-экономические показатели (их несколько десятков), характеризующие два денежных потока при освоении месторождений – доходный и расходный. Разница между ними и характеризует чистый доход (прибыль). Обычно учитываемые технико-экономические показатели приведены в табл. 19 (Временные..., 1998; Методика..., 1996; и др.). Многие из показателей берутся по аналогии с предприятиями-аналогами (например, эксплуатационные затраты и капитальные вложения) с внесением корректив на местные особенности, т.е. достаточно условно, особенно для российского рынка. При региональных металлогенических исследованиях степень условности технико-экономических показателей настолько значительна, особенно при оценке прогнозных ресурсов и предварительно оцененных запасов, что позволяет предложить иную, единую упрощенную оценку стоимости минерального сырья в недрах, охватывающую и запасы и прогнозные ресурсы. Она базируется на двух однозначно выражаемых показателях – массе полезного ископаемого и среднемировой цене конечного продукта и нескольких статистически устанавливаемых коэффициентах, которые в принципе могут быть сведены к одному совокупному. В существующих подходах к геолого-экономической оценке месторождений последние рассматриваются как некий «божий дар» и вся оценка строится без учёта предшествующих затрат на геологоразведочные работы, приведшие к открытию месторождения и геометризации его запасов. Если на месторождении проведены только поисково-оценочные работы, то учитываются расходы на предстоящую его разведку (Агошков, 1974). При таком подходе прогнозные ресурсы вообще как бы не имеют цены, а стоимость разведанных запасов существенно занижается. Правда, можно считать, что в какой-то мере затраты на предшествующие ГРР компенсируются платежами за право пользования недрами, отчислениями на воспроизводство МСБ и т.д., а в стоимость месторождений могут быть включены имеющиеся основные фонды, снижающие последующие капитальные вложения. Но эти платежи по своим размерам никак не сопоставляются с проведенными ГРР.

Примерный перечень технико-экономических показателей оценки месторождений

- Разведанные запасы полезного ископаемого (руды и компонентов) категорий А+В+С₁, тыс.т (м³)
- Оцененные запасы категории С₂, тыс.т (м³)
- Среднее содержание компонентов в запасах категорий А+В+С₁, % (г/т)
- Среднее содержание компонентов в запасах категории С₂, % (г/т)
- Потеря при добыче, %
- Разубоживание, %
- Эксплуатационные запасы, тыс.т (м³)
- Среднее содержание компонентов в эксплуатационных запасах, %
- Годовая производительность предприятия, тыс.т (м³):
 - по горной массе
 - по добыче полезного ископаемого и переработке (обогащению) минерального сырья
 - по выпуску товарных руд (концентратов, промпродуктов)
- Коэффициент вскрыши, м³/т (м³/м³)
- Показатели обогащения (сортировки) минерального сырья, %
 - выход концентрата (промпродукта, других видов продукции)
 - извлечение компонентов в концентрат (промпродукт, другие виды продукции)
 - содержание компонентов (в концентрате и т.п.)
- Срок обеспеченности предприятия запасами
- Капитальные вложения, млн р.
 - В том числе:
 - в рудник
 - в фабрику
 - в дороги
 - в электроснабжение
 - в водоснабжение
 - в связь
 - в жилищное и социально-бытовое строительство
- Удельные затраты на добычу и переработку 1 т полезного ископаемого, тыс.р/т
- Производственные фонды (основные+оборотные), млн р.
- Эксплуатационные расходы на 1 т (м³) полезного ископаемого без учета налогов, тыс.р.
 - В том числе:
 - на добычу
 - на обогащение (рудосортировку)
- То же без амортизационных отчислений, тыс.р.
- Годовые эксплуатационные затраты на добычу и переработку (обогащение) без учета налогов, млн р.
- То же без учета амортизационных отчислений, млн.р.
- Платежи, налоги и отчисления в структуре годовых эксплуатационных затрат, млн р.
- Цена единицы продукции без НДС, тыс.р.
- Стоимость продукции за год, млн р.
- Годовой доход без учета налогов, млн р.

То же с амортизационными отчислениями, млн р.
Годовая прибыль, млн р.
Налоги на прибыль, млн р.
Чистая годовая прибыль, млн р.
То же с амортизационными отчислениями, млн р.
Срок окупаемости капитальных вложений, лет
Чистый дисконтированный доход (ЧДД) (прибыль), млн р.
Индекс доходности (ИД) (прибыльности), %
Внутренняя норма доходности (ВНД) (прибыльности), %
Рентабельность к производственным фондам, %
Рентабельность к эксплуатационным затратам, %

В настоящем руководстве структура стоимости конечной продукции рассматривается в полном объеме и стоимость прогнозных ресурсов и запасов всех категорий в ней находит свое определенное место.

Структура стоимости конечного продукта. Место в ней стоимости прогнозных ресурсов и запасов минерального сырья.

Универсальным показателем потребительной стоимости конечного минерального продукта в настоящее время является его среднемировая цена. Она учитывает весь комплекс общественно необходимых затрат (ОНЗ), налогов, норм прибыли, а также экономических, социальных, конъюнктурных показателей в технологической цепочке региональные работы (прогнозные ресурсы) – поиски (прогнозные ресурсы) – поисково-оценочные работы (прогнозные ресурсы и предварительно оцененные запасы) – предварительная разведка (предварительно оцененные запасы) – детальная разведка (разведанные запасы) – добыча (извлеченные запасы) – обогащение (концентрат) – транспортировка – металлургический и иной передел (конечный продукт). Разумеется для различных полезных ископаемых и отдельных предприятий этот ряд может быть неполным.. Структура стоимости конечного продукта представлена в табл. 20. Она определяется не только ОНЗ на всех стадиях ГРР и отработки месторождения, но и необходимыми налогами и отчислениями, принятой нормой прибыли и, в благоприятных случаях, природной рентой.

Стоимость единицы прогнозных ресурсов и запасов той или иной категории отвечает определенной доле в цене конечного продукта, причем тем большей, чем ближе продукт в недрах к конечному продукту.

Эта доля, отражающая ОНЗ для доведения минерального сырья в недрах до данной степени приближения к конечному продукту, может быть выявлена статистически для различных видов сырья, геолого-промышленных типов месторождений, их размеров, условий отработки. Результаты исследований и проведенных расчетов для некоторых видов сырья приведены в табл.21.

В основу расчетов положены статистические данные по доле затрат на различные стадии ГРР и доле затрат на ГРР в целом в себестоимости и рыночной цене конечного

Таблица 20

Структура стоимости конечного минерального продукта

Общий доход (потенциальная стоимость запасов и ресурсов в недрах)						
Общие затраты - ОНЗ (произведенные и предстоящие), себестоимость						Чистая прибыль (общий доход минус общие затраты)
P ₃	P ₂	P ₁	C ₂	A-C ₁	Конечный продукт	
ОНЗ на региональные работы, включая ГС-200	ОНЗ на ГС-50 и поиски	ОНЗ на поисково-оценочные работы	ОНЗ на предварительную разведку	ОНЗ на детальную разведку	Капитальные вложения	Налоги и отчисления: плата за лицензию, пользование недрами, отчисления на воспроизводство МСБ, амортизационные отчисления за выполненные ГРР, налоги на доход, налоги на прибыль и пр., а также скидки на истощение недр, прочие налоговые льготы
					Производственные расходы (эксплуатационные затраты) – добыча, обогащение, транспортировка, металлургический передел, складирование и пр.	
						Запланированная чистая прибыль ~20% от общих затрат (принимаемый уровень рентабельности)
						Сверхприбыль – природная рента, дифференциальная рента (определяется природной ценностью минерального сырья, степенью ликвидности, величиной объекта, условиями его отработки, налоговыми льготами и др.)

Доля в стоимости конечного продукта, приходящаяся на прогнозные ресурсы и запасы некоторых видов минерального сырья

Категории прогнозных ресурсов и запасов	Доля в стоимости конечного продукта		
	минимальная для стадий ГРР и максимальная для добычи и переработки	средняя	максимальная для стадий ГРР и минимальная для добычи и переработки
Уголь, углеводородное сырье			
P ₃	0,0008	0,002	0,0024
P ₂	0,007	0,017	0,0204
P ₁	0,0095	0,023	0,0276
C ₂	0,0135	0,033	0,0396
C ₁ (сумма затрат на ГРР)	0,0195	0,048	0,0576
Добыча и переработка	0,9	0,7	0,6
Железные руды			
P ₃	0,0028	0,005	0,0072
P ₂	0,0278	0,049	0,0702
P ₁	0,0338	0,059	0,0842
C ₂	0,0424	0,074	0,1052
C ₁	0,0534	0,094	0,1338
Добыча и переработка	0,7	0,6	0,5
Марганцевые, хромовые руды			
P ₃	0,006	0,008	0,014
P ₂	0,051	0,074	0,097
P ₁	0,068	0,091	0,12
C ₂	0,088	0,111	0,15
C ₁	0,128	0,151	0,2
Добыча и переработка		0,6	
Цветные (Cu,Pb,Zn,Ni) и благородные (Au,Ag,Pt) металлы			
P ₃	0,008	0,012	0,016
P ₂	0,104	0,128	0,176
P ₁	0,126	0,157	0,32
C ₂	0,144	0,181	0,35
C ₁	0,186	0,237	0,42
Добыча и переработка	0,6	0,35	0,22
Вольфрам, молибден			
P ₃	0,016	0,02	0,024
P ₂	0,19	0,238	0,286
P ₁	0,258	0,323	0,388
C ₂	0,28	0,353	0,421

C ₁	0,338	0,423	0,508
Добыча и переработка	0,2	0,19	0,17
Олово, ртуть, сурьма, редкие металлы			
P ₃	0,02	0,026	0,032
P ₂	0,238	0,298	0,359
P ₁	0,323	0,404	0,486
C ₂	0,351	0,439	0,526
C ₁	0,423	0,529	0,636
Добыча и переработка	0,26	0,2	0,13
Бокситы			
P ₃		0,014	
P ₂		0,1	
P ₁		0,123	
C ₂		0,138	
C ₁		0,273	
Добыча и переработка		0,5	
Горно-рудное сырье (хризотил-асбест и др.)			
P ₃		0,2	
P ₂		0,16	
P ₁		0,25	
C ₂		0,34	
C ₁		0,45	
Добыча и переработка	0,85	0,64	0,61
Слюда, плавиковый шпат, пьезокварц			
P ₃	0,016	0,02	0,024
P ₂	0,358	0,476	0,571
P ₁	0,433	0,576	0,696
C ₂	0,493	0,656	0,796
C ₁	0,583	0,776	0,946
Апатиты, фосфориты			
P ₃	0,004	0,006	0,008
P ₂	0,035	0,046	0,057
P ₁	0,049	0,064	0,079
C ₂	0,066	0,086	0,106
C ₁	0,099	0,129	0,159
Калийные соли, сера самородная			
P ₃	0,002	0,004	0,006
P ₂	0,015	0,023	0,031
P ₁	0,02	0,031	0,042
C ₂	0,027	0,043	0,055
C ₁	0,04	0,061	0,082
Добыча и переработка	0,7	0,6	0,5
Строительные материалы (большинство)			
P ₃	0,001	0,002	0,004
P ₂	0,005	0,011	0,017
P ₁	0,006	0,014	0,022

C ₂	0,009	0,021	0,032
C ₁	0,016	0,034	0,052
Добыча и переработка	0,8	0,7	0,6

Примечание. Меньшие значения долей стоимости для прогнозных ресурсов и запасов различных категорий относятся к мелким месторождениям, месторождениям с неблагоприятными горнотехническими условиями разработки, труднообогатимым рудам и т.п. (месторождения 3-ей и 4-ой групп по сложности геологического строения), большие – для крупных месторождений, месторождений с благоприятными условиями освоения, возможностью добычи открытым способом с невысоким коэффициентом вскрыши, с легкообогатимыми рудами, не требующими больших затрат на переработку (месторождения 1-ой группы по сложности геологического строения). Средние значения коэффициентов относятся к месторождениям 2-ой группы по сложности геологического строения. Для стадии добычи и переработки значения долей стоимости обратные – наибольшие в первом случае, наименьшие – во втором. Приведенные значения в зависимости от конкретных условий могут интерполироваться.

Библиотека Морина А.О.

продукта. Для различных видов сырья они колеблются в широком диапазоне. Например, доля затрат на поиски в общих затратах на ГРР колеблется от 20-25% для строительных материалов, угля, солей, фосфоритов до 80-90% для алмазов, доля ГРР в стоимости конечного продукта – от первых процентов для строительных материалов, углей, солей и т.п. до 50-60% и более для вольфрама, молибдена, олова и до 70-80% и более для слюд, пьезокварца, плавикового шпата.

Принятая в настоящее время градация месторождений по размерам приведена в табл. 22 (Приказ МПР № 50 от 31.3.1997 г.)

Эквивалентные количества прогнозных ресурсов и запасов различных категорий.

Опыт проведения ГРР свидетельствует лишь о частичной реализации прогнозных ресурсов и запасов при переходе из более низких категорий в более высокие.

Возникает задача приведения количества (массы) прогнозных ресурсов и запасов данной категории к количеству запасов промышленных категорий (C_1+B+A). Коэффициенты перехода могут быть рассчитаны статистически по литературным данным (Кривцов и др., 1993; Орлов, 1991; и др.). Рекомендуемые коэффициенты приведены в табл. 23.

Потери полезного ископаемого при добыче, обогащении, транспортировке, переработке.

При разработке месторождений происходит неполное извлечение полезного ископаемого из недр, характеризуемое коэффициентом извлечения, и разубоживание (засорение) руд, характеризуемое коэффициентом разубоживания (Агошков 1974).

Промышленная переработка минерального сырья включает в себя процессы дробления, измельчения, обогащения, иногда и окускования (агломерация, окомкование, брикетирование). Эти процессы обеспечивают получение готовой к непосредственному использованию продукции (неметаллические и другие виды сырья) или концентратов для металлургического, химического или других видов передела.

В процессе транспортировки и переработки минерального сырья также происходят его потери, учитываемые соответствующими коэффициентами.

Металлургический, химический или иной передел минерального сырья также приводит к неполному его извлечению в виде конечного продукта.

Окончательная доля минерального сырья, воплотившаяся в конечный продукт в процессе его добычи и передела, выражается через коэффициент сквозного извлечения. Усредненные его значения для различных видов сырья и типов месторождений также определяются статистически.

В материалах по учету запасов и прогнозных ресурсов обычно приводятся геологические запасы и ресурсы, т.е. без учета их потерь при добыче и переработке. Лишь для углеводородного сырья (нефть, газ, конденсат и сопутствующие им виды сырья) наряду с геологическими приводятся также извлекаемые запасы. Поэтому при всех расчетах по твердым полезным ископаемым обязателен учет коэффициентов сквозного извлечения (Агошков, 1974).

Для некоторых видов сырья порядок таких коэффициентов приведен в табл. 24. При расчетах для конкретных регионов и геолого-промышленных типов эти коэффициенты могут быть существенно уточнены.

Градации месторождений полезных ископаемых по размерам
(Приказ МПР №50 от 31. 03. 1997г.)

Полезное ископаемое	Единица измерения	Запасы месторождений		
		крупных (более)	средних (от – до)	мелких (менее)
Нефть и конденсат	млн т	60	60-15	15
Природный газ	млрд м ³	75	75-40	40
Уголь коксуемый энергетический бурый	млн т	300	300-50	50
	млн т	500	500-50	50
	млн т	1000	1000-100	100
Горючие сланцы	млн т	1000	1000-100	100
Торф	млн т	1	1-0,1	0,1
Железные руды	млн т	300	300-50	50
Марганцевые руды	млн т	30	30-3	3
Хромовые руды	млн т	10	10-1	1
Бериллий	тыс.т	10	10-0,5	0,5
Бокситы	млн т	50	50-5	5
Вольфрам (WO ₃) коренные м-ния россыпи	тыс.т	100	100-10	10
		15	15-1	1
Висмут	тыс.т	15	15-1	1
Германий	тыс.т	1,5	1,5-0,5	0,5
Кобальт	тыс.т	15	15-2	2
Литий (Li ₂ O)	тыс.т	200	200-50	50
Медь	тыс.т	1000	1000-100	100
Молибден	тыс.т	50	50-5	5
Никель	тыс.т	200	200-30	30
Ниобий (Nb ₂ O ₅)	тыс.т	300	300-50	50
Тантал (Ta ₂ O ₅)	тыс.т	5	5-0,5	0,5
Олово коренные м-ния россыпи	тыс.т	50	50-5	5
		10	10-1	1
Ртуть	тыс.т	15	15-0,7	0,7
Свинец	тыс.т	1000	1000-100	100
Цинк	тыс.т	1000	1000-100	100
Стронций	тыс.т	500	500-100	100
Сурьма	тыс.т	100	100-10	10
Титан (TiO ₂) коренные м-ния россыпные-рутил -ильменит	млн т	10	10-3	3
		1	1-0,1	0,1
		5	5-0,5	0,5
Цирконий (ZrO ₂)	млн т	1,5	1,5-0,3	0,3
Золото коренные м-ния россыпи	т	50	50-5	5
		3	3-0,5	0,5
Серебро	т	3000	3000-500	500
Платина				

коренные м-ния россыпи	т т	30 3	30-10 3-0,5	10 0,5
Алмазы коренные м-ния россыпи Радиоактивное сырье	млн каратов тыс.т	20 5 20	20-1 5-0,1 20-5	1 0,1 5
Фосфориты (P ₂ O ₅)	млн т	30	30-10	10
Апатиты(P ₂ O ₅)	млн т	50	50-10	10
Борные руды (B ₂ O ₅) бораты боросиликаты Калийные соли Соль поваренная пищевая химическая Магниевые соли (бишофит) Сульфат натрия Абразивы корунд наждак	млн т млн т млн т млн т млн т млн т млн т млн т тыс.т тыс.т	1,5 20 500 300 1000 80 10 100 300	1,5-0,2 20-5 500-100 300-100 1000-200 80-10 10-5 100-30 300-10	0,2 5 100 100 200 10 5 30 10
Асбест хризотилловый антофиллитовый амфиболитовый	млн т тыс.т тыс.т	15 40 5	15-2 40-5 5-0,5	2 5 0,5
Барит	млн т	3	3-1	1
Графит	млн т	15	15-3	3
Тальк	млн т	5	5-0,5	0,5
Каолины	млн т	25	25-5	5
Бокситы для огнеупоров	млн т	10	10-3	3
Глины тугоплавкие огнеупорные бентонитовые	млн т млн т млн т	50 25 15	50-10 25-5 15-2	10 5 2
Камни облицовочные	млн м ³	5	5-2	2
Доломиты	млн т	100	100-30	30
Известняки	млн т	150	150-50	50
Кварциты	млн т	30	30-5	5
Магнезит	млн т	100	100-10	10
Мраморы	млн т	2	2-0,5	0,5
Полевошпатовое сырье	млн т	2	2-0,5	0,5
Плавленый шпат	млн т	5	5-1	1
Пески формовочные	млн т	20	20-5	5
Слюда-мусковит	тыс.т	20	20-2	2
Слюда-флакопит и вермикулит	тыс.т	1	1-0,1	0,1
Цеолиты	тыс.т	100	100-0,1	0,1
Гипс, ангидрит	тыс.т	20	20-5	5
Кварц жильный для плавки оптиче- ского стекла для оптического	тыс.т млн т	500 3	500-100 3-0,5	100 0,5

стекловарения				
Пьезокварц	тыс.кг.	5	5-1,5	1,5
Горный хрусталь	тыс.кг	500	500-200	200
Исландский шпат	тыс.кг	8	8-1	1
Оптический флюорит	тыс.кг	0,5	0,5-0,1	0,1
Промышленные воды - гидроминеральное сырье				
йод	т/год	800	800-100	100
бром	т/год	3000	3000-1000	1000
Подземные воды пресные	тыс.м ³ в сутки	200	200-30	30
термальные минеральные:	МВт м ³ /сутки	100	100-10	10
сероводородные родоновые, кремнистые	м ³ /сутки	500	500	100
углекислые,железистые азотные термы	м ³ /сутки м ³ /сутки	300 1500	300-50 1500-300	50 300

Таблица 23

Усредненные вероятностные значения коэффициентов приведения прогнозных ресурсов и предварительно оцененных запасов к запасам промышленных категорий (А-С₁)

Категории прогнозных ресурсов и запасов	Коэффициенты перехода к запасам промышленных категорий		
	минимальные	средние	максимальные
P ₃	0,03	0,07	0,2
P ₂	0,36	0,4	0,5
P ₁	0,7	0,75	0,8
C ₂	0,9	0,92	0,95

Примечание. Меньшие значения относятся к геолого-промышленным типам месторождений сложного геологического строения с преимущественно секущим (жильным) типом рудных тел, большие – к месторождениям простого, преимущественного пластового типа, средние – промежуточные между первыми двумя (россыпи, коры выветривания, колчеданный тип).

Общие коэффициенты извлечения ($K_{и}$) для некоторых видов
твердых полезных ископаемых

Вид минерального сырья	$K_{и}$	Вид минерального сырья	$K_{и}$
Апатиты	0,58	Строит. материалы (большинство)	0,9
Асбест	0,85		
Барит	0,72	Тальк	0,75
Бериллий	0,6	Теллур	0,066
Ванадий	0,6	Титан	0,64
Вольфрам	0,66	Торф	0,6
Галлий	0,8	Уголь	0,85
Германий	0,8	Фосфориты	0,66 P_2O_5
Графит	0,8	Хром	0,8
Железо	0,73	Цинк	0,6
Золото	0,75	Цирконий	0,6
Индий	0,15	Янтарь	0,987
Кадмий	0,8		
Каолин	0,6		
Марганец	0,72		
Медь	0,74		
Молибден	0,6		
Мышьяк	0,8		
Никель	0,73		
Олово	0,53		
Редкоземельные элементы	0,6		
Платиноиды	0,8		
Свинец	0,6		
Селен	0,053		
Сера колчеданная	0,7		
Серебро	0,8		
Сланцы горючие	0,7		
Соли калийные	0,3		
Соль поваренная	0,5		

Методика оценки стоимости прогнозных ресурсов и запасов минерального сырья в недрах при прогнозно-металлогенических исследованиях.

Прогнозные ресурсы и запасы минерального сырья той или иной категории имеют различную «удаленность» от конечного продукта и, следовательно, стоят по разному (Неженский, Павлова, 1995).

Стоимость конечной продукции для прогнозных ресурсов или запасов может рассматриваться только как их потенциальная стоимость ($C_{П}$):

$$C_{П} = Ц \cdot M \cdot K_{И},$$

где Ц – цена единицы конечной продукции (металл, химическое соединение, минерал, руда, концентрат), М – масса (количество) прогнозных ресурсов или запасов данного вида сырья данной категории (т, м³, кг, г), $K_{И}$ – коэффициент сквозного извлечения. Реальная стоимость запасов и прогнозных ресурсов составляет лишь часть их потенциальной стоимости, т.е. стоимости конечного продукта. И эта часть стоимости определяется завершающей стадией ГРР, приведшей к оценке прогнозных ресурсов и запасов (см. табл.). Условно эта стоимость может быть названа товарной ($C_{Т}$), поскольку именно ею оценивается рыночная значимость перспективной площади и месторождения.

По предлагаемой экспрессной методике товарную стоимость прогнозных ресурсов и запасов предлагается определять по следующим формулам.

Для одного объекта (месторождения, перспективной площади) для прогнозных ресурсов и запасов определенного вида сырья той или иной категории:

$$C_{Т} = Ц \cdot M \cdot K_{И} \cdot K_{П} \cdot K_{С}, \quad (38)$$

где $K_{И}$ – сквозной коэффициент извлечения (см. табл.), $K_{П}$ коэффициент приведения количества прогнозных ресурсов и предварительно оцененных запасов к количеству разведанных запасов (см. табл.), $K_{С}$ – доля в стоимости (цене) конечного продукта, приходящаяся на стоимость (цену) прогнозных ресурсов или запасов данной категории (см. табл.3).

Для запасов и прогнозных ресурсов всех категорий данного вида сырья:

$$C_{Т} = \sum_{i=1}^n C_{Тi}, \quad (39)$$

где n – количество категорий прогнозных ресурсов и запасов.

Для всех видов сырья по данному объекту:

$$(40) \quad C_{Т} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{Тij}, \text{ где } m \text{ - количество видов минерального сырья,}$$

данного объекта.

Стоимости отдельных объектов могут суммироваться по административным, геолого-экономическим, металлогеническим подразделениям и тогда определяется общая стоимость недр соответствующего территориального образования.

Наряду с общей стоимостью могут рассчитываться и иные показатели, например, $C_{уд} = C_{Т} / П$, $C_{уд} = C_{Т} / Н$ и др., где $C_{уд}$ – удельная стоимость на единицу площади (П – площадь территории) или на одного человека (Н – количество населения, проживающего на данной территории).

Рассмотрим два примера оценки стоимости запасов и прогнозных ресурсов минерального сырья в недрах – для месторождения и для территории.

Пример 1. Медно-колчеданное месторождение Урала. Для простоты возьмем лишь два основных компонента руд – медь и цинк (всего по месторождению учитывается полтора десятка компонентов).

Запасы меди по категории А-С₁ равны 1,1 млн т, по категории С₂ – 0,05 млн т, цинка по категории А-С₁ – 2 млн т, по категории С₂ – 0,76 млн т.

Среднемировую цену на медь принимаем в 2000 дол. за 1 т, цинка – 1000 дол. за 1 т.

Далее из табл. находим значения K_C для меди и цинка (они одинаковы) для категории $A-C_1=0,3$, для категории $C_2=0,2$ (как для месторождения выше среднего, но не очень крупного – путем интерполяции).

Из табл. находим значение K_{II} для запасов категории $C_2 = 0,92$.

И, наконец, из табл. находим значения K_{II} для меди – 0,74 и для цинка – 0,6.

Подставляем найденные значения параметров в уравнение (3):

$S_T = \sum M \cdot K_{II} \cdot K_C = 2000 \cdot 1,1 \cdot 0,74 \cdot 0,3 + 2000 \cdot 0,05 \cdot 0,74 \cdot 0,92 \cdot 0,2 + 1000 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 0,3 + 1000 \cdot 0,76 \cdot 0,6 \cdot 0,92 \cdot 0,2 = 488,4 + 13,6 + 360 + 83,9 \approx 946$ млн дол. – товарная стоимость запасов минерального сырья (основных компонентов) в недрах месторождения.

По видам сырья стоимость распределяется следующим образом: Cu (53,1), Zn(46,9).

Пример 2. Калининградская область. Стоимость ее недр может быть определена двумя путями: 1- определение стоимости отдельных месторождений полезных ископаемых и затем их суммирование; 2 – определение суммы запасов и прогнозных ресурсов по всем видам сырья для территории области и затем расчет их общей стоимости. В данном случае удобнее пойти вторым путем.

Исходные данные.

Соль поваренная (СП):

$M_{A-C_1} = 1597,7$ млн т, $M_{C_2} = 4182,1$ млн т, $\sum = 10$ дол/т, $K_{II} = 0,5$, $K_{II C_2} = 0,95$, $K_{CA-C_1} = 0,061$, $K_{CC_2} = 0,043$ (берем средние значения).

Соли калийные (СК): $M_{P_1} = 200$ млн т K_2O , $\sum = 140$ дол/т K_2O , $K_{II} = 0,3$, $K_{II P_1} = 0,8$, $K_{CP_1} = 0,5$, $K_{CP_1} = 0,031$, $K_{CP_2} = 0,023$.

Янтарь (Я): $M_{ЗАБ} = 63$ тыс.т (по значениям коэффициентов забалансовые запасы приравниваем к прогнозным ресурсам категории P_1), $M_{A-C_1} = 120$ тыс.т, $M_{C_2} = 52$ тыс.т, $\sum = 20$ дол/кг, $K_{II} = 0,987$, $K_{II P_1} = 0,75$, $K_{II C_2} = 0,92$, K_C условно принимается как для россыпей благородных металлов – $K_{P_1} = 0,157$, $K_{CA-C_1} = 0,237$, $K_{CC_2} = 0,181$.

Нефть (Н): $M_{A-C_1} = 20,2$ млн т, $M_{C_2} = 1,5$ млн т, $M_{C_3=P_1} = 4,5$ млн т, $\sum = 120$ дол/т, $K_{II} = 1$ (учитываются извлекаемые запасы), $K_{II C_3=P_1} = 0,8$, $K_{II C_2} = 0,95$, $K_{CP_1} = 0,023$, $K_{CA-C_1} = 0,048$, $K_{CC_2} = 0,033$.

Газ (Г): $M_{A-C_1} = 1,1$ млрд m^3 , $M_{C_2} = 0,15$ млрд m^3 , $\sum = 80$ дол/тыс. m^3 , $K_{II} = 1$, $K_{II C_2} = 0,95$, $K_{CA-C_1} = 0,048$, $K_{CC_2} = 0,033$.

Строительные материалы (СтМ): $M_{A-C_1} = 194$ млн m^3 , $M_{C_2} = 161$ млн m^3 , $M_{P_1} = 33$ млн m^3 , $\sum = 5$ дол/ m^3 , $K_{II} = 0,9$, $K_{II C_2} = 0,95$, $K_{II P_1} = 0,8$, $K_{CA-C_1} = 0,034$, $K_{CC_2} = 0,021$, $K_{CP_1} = 0,014$.

Расчет стоимости по формуле (3): $S_{T СП} = 10 \cdot 1597,7 \cdot 0,5 \cdot 0,061 + 10 \cdot 4182,1 \cdot 0,5 \cdot 0,95 \cdot 0,043 = 487,3 + 854,2 = 1341,5$ млн дол.

$S_{T СК} = 140 \cdot 200 \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,031 + 140 \cdot 200 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,023 = 208,3 + 96,6 = 304,9$ млн дол.

$S_{T Я} = 20 \cdot 120 \cdot 0,987 \cdot 0,237 + 20 \cdot 52 \cdot 0,987 \cdot 0,92 \cdot 0,181 + 20 \cdot 63 \cdot 0,987 \cdot 0,75 \cdot 0,157 = 561,4 + 170,9 + 146,4 = 878,7$ млн дол.

$S_{T Н} = 120 \cdot 20,2 \cdot 0,048 + 120 \cdot 1,5 \cdot 0,95 \cdot 0,033 + 120 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 0,023 = 116,4 + 5,6 + 9,9 = 131,9$ млн д.

$S_{T Г} = 80 \cdot 1,1 \cdot 0,048 + 80 \cdot 0,15 \cdot 0,95 \cdot 0,033 = 4,2 + 0,4 = 4,6$ млн дол.

$S_{T СтМ} = 5 \cdot 194 \cdot 0,9 \cdot 0,034 + 5 \cdot 161 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,021 + 5 \cdot 33 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,014 = 29,7 + 14,5 + 1,7 = 45,9$ млн дол.

Итого, общая товарная стоимость недр Калининградской области равна:
 $\sum S_T = 1341,5 + 304,9 + 878,7 + 131,9 + 4,6 + 45,9 = 2707,5$ млн дол. = 2,7 млрд дол. Доля запасов в стоимости – 82,9%.

По видам сырья товарная стоимость распределяется следующим образом (%): СП(49,5), Я(32,5), СК (11,2), Н(4,9), СтМ(1,7), Г(0,2).

Можно рассчитать также удельную стоимость недр Калининградской области. Её площадь равна $15,1 \text{ тыс. км}^2$, население – 900 тыс. чел. Тогда $C_{\text{уд}} = 179,2 \text{ тыс. дол/км}^2$ и $C_{\text{уд}} = 3,0 \text{ тыс. дол/чел.}$

Отображение результатов стоимостной оценки недр территорий и месторождений полезных ископаемых.

Результаты стоимостной оценки территорий удобно отображать на специальной карте стоимости недр. Карты могут составляться на административной, геолого-экономической, металлогенической, комбинированной основе (Неженский, Павлова, 1995). Поскольку подобные работы проводятся обычно по заказу администрации субъектов РФ, карту предпочтительнее составлять на административной основе с элементами металлогенического и геолого-экономического районирования. В этом случае административные районы являются основными территориальными подразделениями, для которых рассчитана и отображена на карте стоимость запасов и прогнозных ресурсов минерального сырья в недрах, как общая, так и удельная на 1 км^2 . В основе стоимостных оценок недр административных районов лежат суммарные стоимостные оценки недр месторождений и перспективных площадей. Для месторождений на карте отражены вид сырья и степень освоенности. Особо показывается стоимость прогнозных ресурсов в недрах перспективных площадей.

Легенда к карте блочная и многослойная. Общая ценность недр территорий административных районов отражена на карте цветом, а удельная на 1 км^2 - черной штриховкой различного типа, наложенной на цвет, характеризующий общую ценность недр.

Кроме того, стоимостная оценка недр административных районов отражена на карте в специальных таблицах, в которых указывается номер района, общая товарная стоимость минерального сырья в недрах района, доля в ней запасов, удельная стоимость 1 км^2 территории, виды сырья и их доля в общей ценности недр.

Общая стоимость прогнозных ресурсов в недрах перспективных площадей и стоимость недр рудных районов, бассейнов, областей, провинций, обычно охватывающих несколько административных районов или их части, показывается цветом штриховки, а удельная их стоимость – типом штриховки, как и для административных районов. Цвет граничных линий перспективных площадей отвечает виду сырья. Стоимостные характеристики этих объектов даются на карте также и в таблицах, аналогичных таблицам для административных районов.

Стоимость минерального сырья в недрах месторождений показывается величиной знака, вид сырья – цветом, а освоенность месторождений – усложнением знака. Специальным контуром показано площадное распространение месторождений в случае, когда это позволяет сделать масштаб карты.

Нумерация месторождений дается отдельно для каждого административного района с запада на восток и с севера на юг.

К карте стоимости недр прилагается объяснительная записка. В ней излагаются методические основы оценки стоимости минерального сырья в недрах, описывается методика составления карты и легенды к ней, а также приводятся результаты анализа стоимости запасов и прогнозных ресурсов в недрах оцененной территории.

В специальных приложениях к объяснительной записке обычно в табличной форме приводятся исходные данные, принимаемые параметры и результаты расчетов стоимости запасов и прогнозных ресурсов в недрах, размещение запасов и прогнозных ресурсов по административным районам, стоимость минерального сырья в недрах административных и рудных районов, отдельно стоимость запасов и стоимость прогнозных ресурсов, стоимость запасов и прогнозных ресурсов в недрах месторождений. Наряду с товарной может быть приведена и потенциальная стоимость недр и даже составлена соответствующая до-

полнительная карта. Возможные формы представления указанной информации приведены в Приложениях.

Составление карты стоимости минерального сырья в недрах по ГИС-технологии позволяет осуществлять мониторинг всех исходных и расчетных данных, т.е. иметь подвижную базу данных. Эта технология позволяет также графически отобразить любой слой информации, например, составить отдельно карту стоимости в недрах только запасов, только прогнозных ресурсов и т.п.

Библиотека Морина А.О.

. Состав и структура Банка Данных прогнозных объектов.

Состав и структура Банка Данных прогнозных объектов приведены в табл.25. Различная информация о прогнозных объектах хранится в 3 независимых файлах и сгруппирована по трем основным блокам:

I. Общая характеристика прогнозного объекта:

1. Основные характеристики прогнозного объекта.
2. Источник информации о прогнозном объекте.

II. Качественная и количественная характеристика полезного ископаемого

3. Характеристика полезного ископаемого

III. Пространственное представление прогнозного объекта:

4. Координаты (для локальных объектов)
5. ГИС-файл (шейп-файл) с пространственным представлением объектов Банка Данных прогнозных объектов, сопровождающийся атрибутивной таблицей в формате DBF, содержащей уникальный идентификатор прогнозного объекта в Банке данных.

Исходной формой представления информации об объектах Банка Данных являются таблицы, созданные в формате MS Excel 97 или в формате DBF.

В таблицах блока I содержится основная интегральная информация по объектам Банка Данных. Эти таблицы наполняются информацией в первую очередь с заполнением всех без исключения атрибутивных полей.

Связующее (ключевое) поле **Id_pob** в таблицах, определяющее идентификатор объекта Банка Данных, является уникальным для таблиц 1 и 3 (одному объекту соответствует только одна запись в таблице) и неуникальным для всех остальных таблиц (одному объекту может соответствовать несколько записей в таблице).

Уникальный идентификатор объекта является символьным и состоит из двух частей: код Субъекта Федерации и код прогнозного объекта в пределах Субъекта Федерации. Длина записи – 6 символов. Формат записи: # # + # # # #. Недостающие символы в идентификаторе заменяются нулями (Например: {Алтайский край (код 2) + прогнозный объект № 3} = «0020003»).

Описание структуры файлов приведено ниже в виде таблиц (26-29), содержащих следующие графы:

1. Номер по порядку;
2. Название признака;
3. Имя поля в таблице;
4. Тип поля:

С – символьное поле;

N – числовое поле;

В – справочное поле (в поле таблицы хранится только числовой код, расшифровывающийся по словарю. Перечень и состав используемых словарей приведен ниже);

5. Имя файла словаря

Таблица 25. Состав и структура Банка Данных прогнозных объектов

I. Общая характеристика прогнозного объекта

<i>Основные характеристики прогнозного объекта</i>	
1	Уникальный идентификатор объекта
2	Название объекта
3	<i>Вид объекта (локальный или площадной)</i>
4	<i>Металлогенический ранг объекта</i>
5	<i>Комплексность объекта (комплексный, моноэлементный)</i>
6	<i>Главные полезные ископаемые</i>
7	<i>Попутные полезные ископаемые</i>
8	Размер объекта (кв. км)
9	<i>Геолого-структурное положение</i>
10	Название структуры, вмещающей объект
11	<i>Вид структуры, вмещающей объект</i>
12	<i>Завершенная стадия работ</i>
13	<i>Рекомендуемые виды дополнительных ГРП</i>
14	Год подсчета прогнозных ресурсов
15	<i>Субъект Федерации</i>
16	Привязка к листам масштаба 1: 200 000

<i>Источники информации о прогнозном объекте</i>	
1	Уникальный идентификатор объекта
2	Название документа
3	<i>Содержание документа</i>
4	Автор (составитель)
5	Год издания (составления)

II. Качественная и количественная характеристика ПИ

<i>Характеристика полезного ископаемого</i>	
1	Уникальный идентификатор объекта
2	<i>Полезное ископаемое</i>
3	<i>Значимость ПИ (главное, попутное)</i>
4	<i>Рудно-формационный тип прогнозируемого месторождения</i>
5	<i>Геолого-промышленный тип прогнозируемого месторождения по Госбалансу</i>
6	Глубина прогноза (м)
7	<i>Ожидаемый масштаб оруденения</i>
8	<i>Единицы измерения содержания ПИ</i>
9	Среднее содержание в запасах С2
10	Среднее содержание в ресурсах Р1
11	Среднее содержание в ресурсах Р2
12	Среднее содержание в ресурсах Р3
13	<i>Единицы измерения запасов и ресурсов</i>
14	Запасы С2
15	Ресурсы Р1
16	Ресурсы Р2
17	Ресурсы Р3

III. Пространственное представление прогнозного объекта
(для локальных объектов)

<i>Координаты объекта</i>	
1	Уникальный идентификатор объекта
2	Широта (градусы)
3	Широта (минуты)
4	Долгота (градусы)
5	Долгота (минуты)

Характеристика и структура таблиц

Таблица 26

: Основные характеристики прогнозного объекта

Имя файла: pob_char.*

№ п/п	Название признака	Имя поля в таблице	Тип поля	Название словаря
1	Уникальный идентификатор объекта	Id_pob	C	
2	Название объекта	Pob_name	C	
3	<i>Вид объекта (локальный или площадной)</i>	Pob_vid	B	Spr_vpl
4	<i>Металлогенический ранг объекта</i>	Pob_rng	B	Spr_mrang
5	<i>Комплексность объекта (комплексный, моноэлементный)</i>	Pob_com	B	Spr_com
6	<i>Главные полезные ископаемые</i>	Pob_gl_pi	B	Spr_pi
7	<i>Попутные полезные ископаемые</i>	Pob_pp_pi	B	Spr_pi
8	Размер объекта (кв. км)	Pob_pls	N	
9	<i>Геолого-структурное положение</i>	Pob_gtp	B	Spr_gtp
10	Название структуры, вмещающей объект	Pob_nstr	C	
11	<i>Вид структуры, вмещающей объект</i>	Pob_vstr	B	Spr_rvstr
12	<i>Завершенная стадия работ</i>	Pob_stad	B	Spr_osv
13	<i>Рекомендуемые виды дополнительных ГРП</i>	Pob_rec	B	Spr_osv
14	Год подсчета прогнозных ресурсов	Pob_god	N	
15	<i>Субъект Федерации</i>	Pob_adm	B	Spr_adm
16	Привязка к листам масштаба 1: 200 000	Pob_list	C	

Таблица 27

: Источник информации об объекте

Имя файла: pob_info.*

№ п/п	Название признака	Имя поля в таблице	Тип поля	Название словаря
1	Уникальный идентификатор объекта	Id_pob	C	
2	Название документа	Info_name	C	
3	<i>Содержание документа</i>	Info_sod	B	Spr_doc
4	Автор (составитель)	Info_avt	C	
5	Год издания (составления)	Info_god	N	

Таблица 28:

Характеристика полезного ископаемого

Имя файла: pob_pi.*

№ п/п	Название признака	Имя поля в таблице	Тип поля	Название словаря
1	Уникальный идентификатор объекта	Id_pob	C	
2	<i>Полезное ископаемое</i>	Pi_name	B	Spr_pi
3	<i>Значимость ПИ (главное, попутное)</i>	Pi_zn	B	Spr_znpi
4	<i>Рудно-формационный тип прогнозируемого месторождения</i>	Pi_rft	B	Spr_trud
5	<i>Геолого-промышленный тип прогнозируемого месторождения по Госбалансу</i>	Pi_gpt	B	Spr_tprom
6	Глубина прогноза (м)	Pi_gl	N	
7	<i>Ожидаемый масштаб оруденения</i>	Pi_mst	B	Spr_mast
8	<i>Единицы измерения содержания ПИ</i>	Pi_edsd	C	

. Перечень и состав основных словарей, используемых в Банках Данных

9	Среднее содержание в запасах С2	Pi_sdc2	N	
10	Среднее содержание в ресурсах P1	Pi_sdp1	N	
11	Среднее содержание в ресурсах P2	Pi_sdp2	N	
12	Среднее содержание в ресурсах P3	Pi_sdp3	N	
13	Единицы измерения запасов и ресурсов	Pi_edrs	C	
14	Запасы С2	Pi_rsc2	N	
15	Ресурсы P1	Pi_rsp1	N	
16	Ресурсы P2	Pi_rsp2	N	
17	Ресурсы P3	Pi_rsp3	N	

Таблица 29:

Координаты объекта

Имя файла: pob_crd. *

Таблица заполняется только для локальных прогнозных объектов (см. словарь «Вид прогнозного объекта»)

№ п/п	Название признака	Имя поля в таблице	Тип поля	Название словаря
1	Уникальный идентификатор объекта	Id_pob	C	
2	Широта (градусы)	Y_grd	N	
3	Широта (минуты)	Y_min	N	
4	Долгота (градусы)	X_grd	N	
5	Долгота (минуты)	X_min	N	

1. Субъекты Федерации;
2. Значимость полезного ископаемого;
3. Полезные ископаемые;
4. Размеры месторождения;
5. Степень освоения объекта;
6. Рудно-формационный тип месторождения;
7. Геолого-промышленный тип месторождения по Госбалансу;
8. Геолого-тектоническое положение месторождения;
9. Вид рудовмещающей структуры;
10. Содержание документа;
11. Вид прогнозного объекта;
12. Металлогенический ранг прогнозного объекта;
13. Комплексность прогнозного объекта.

1. Словарь: Субъекты Федерации

Имя файла: spr_adm. xls

Id_adm	Name_adm	Id_adm	Name_adm
1	Агинский Бурятский авт. округ	45	Республика Адыгея (Адыгея)
2	Алтайский край	46	Республика Алтай
3	Амурская область	47	Республика Башкортостан
4	Архангельская область	48	Республика Бурятия
5	Астраханская область	49	Республика Дагестан
6	Белгородская область	50	Республика Ингушетия

7	Брянская область	51	Республика Калмыкия
8	Владимирская область	52	Республика Карелия
9	Волгоградская область	53	Республика Коми
10	Вологодская область	54	Республика Марий Эл
11	Воронежская область	55	Республика Мордовия
12	Еврейская авт. область	56	Республика Саха (Якутия)
13	Ивановская область	57	Республика Северная Осетия
14	Иркутская область	58	Республика Татарстан (Татарстан)
15	Кабардино-Балкарская республика	59	Республика Тыва
16	Калининградская область	60	Республика Хакасия
17	Калужская область	61	Ростовская область
18	Камчатская область	62	Рязанская область
19	Карачаево-Черкесская республика	63	Самарская область
20	Кемеровская область	64	Саратовская область
21	Кировская область	65	Сахалинская область
22	Коми-Пермяцкий авт. округ	66	Свердловская область
23	Корякский авт. округ	67	Смоленская область
24	Костромская область	68	Ставропольский край
25	Краснодарский край	69	Таймырский (Долгано-Ненецкий) авт. округ
26	Красноярский край	70	Тамбовская область
27	Курганская область	71	Тверская область
28	Курская область	72	Томская область
29	Ленинградская область	73	Тульская область
30	Липецкая область	74	Тюменская область
31	Магаданская область	75	Удмуртская республика
32	Московская область	76	Ульяновская область
33	Мурманская область	77	Усть-Ордынский Бурятский авт. округ
34	Ненецкий авт. округ	78	Хабаровский край
35	Нижегородская область	79	Ханты-Мансийский авт. округ
36	Новгородская область	80	Челябинская область
37	Новосибирская область	81	Чеченская республика
38	Омская область	82	Читинская область
39	Оренбургская область	83	Чувашская республика (Чуваш республики)
40	Орловская область	84	Чукотский авт. округ
41	Пензенская область	85	Эвенкийский авт. округ
42	Пермская область	86	Ямало-Ненецкий авт. округ
43	Приморский край	87	Ярославская область
44	Псковская область		

2. Словарь: Значимость полезного ископаемого

Имя файла: spr_znpi. xls

Id_znpi	Name_znpi
1	Главное
2	Попутное

3. Словарь: Полезные ископаемые

Имя файла: spr_isk. xls

Id_isk	Name_isk	Ind_isk	Name_isk
		k	

Металлические полезные ископаемые			
1	Алюминий	24	Палладий
2	Бериллий	25	Платина
3	Ванадий	26	Платина и платиноиды
4	Висмут	27	Редкоземельные металлы
5	Вольфрам	28	Рений
6	Галлий	29	Родий
7	Гафний	30	Ртуть
8	Германий	31	Рубидий
9	Железо	32	Рутений
10	Золото	33	Свинец
11	Индий	34	Селен
12	Иридий	35	Серебро
13	Кадмий	36	Скандий
14	Кобальт	37	Стронций
15	Литий	38	Сурьма
16	Марганец	39	Таллий
17	Медь	40	Тантал
18	Молибден	41	Теллур
19	Мышьяк	42	Титан
20	Никель	43	Хром
21	Ниобий	44	Цезий
22	Олово	45	Цинк
23	Осмий	46	Цирконий
Неметаллические полезные ископаемые			
1	Агальматолит	41	Лазурит
2	Агат	42	Малахит
3	Агат-переливт	43	Морион
4	Аквамарин	44	Мрамор
5	Александрит	45	Мусковит
6	Алмаз	46	Мусковит заб. сырец
7	Амазонит	47	Мусковит мелкозернистый
8	Аметист	48	Наждак
9	Асбест	49	Нефрит
10	Асбест антофиллитовый	50	Опал
11	Асбест режикитовый	51	Плавленый шпат
12	Асбест родуситовый	52	Родонит
13	Асбест хризотилитовый	53	Рубин
14	Барит	54	Сапфир
15	Беломорит	55	Сера
16	Берилл	56	Сера самородная
17	Бирюза	57	Сердолик
18	Битум	58	Силлиманит
19	Бор	59	Сода
20	Брусит	60	Соли калиевые
21	Вермикулит	61	Соли магниевые
22	Гагат	62	Соль поваренная
23	Гипс	63	Сыннырит

24	Глины бентонитовые	64	Тальк
25	Глины огнеупорные	65	Топаз
26	Горный хрусталь	66	Флогопит заб. сырец
27	Графит	67	Фосфор
28	Демантоид	68	Фтор
29	Жадеит	69	Халцедон
30	Изумруд	70	Хризолит
31	Исландский шпат	71	Хризопраз
32	Кальцит оптический	72	Хромдиопсид
33	Кварц	73	Цеолиты
34	Кварц гранулированный	74	Цитрин
35	Кварц жильный	75	Чароит
36	Кварц пьезооптический	76	Шпинель
37	Кварцит	77	Щебень
38	Кианит	78	Янтарь
39	Корунд	79	Яшма
40	Лабрадорит		

4. Словарь: Размеры месторождения

Имя файла: spr_mast. xls

Id_mast	Name_mast
1	Уникальное месторождение
2	Крупное месторождение
3	Среднее месторождение
4	Мелкое месторождение
5	Проявление

5. Словарь: Степень освоения объекта и рекомендуемые виды дополнительных ГРР

Имя файла: spr_osv. xls

Id_osv	Name_osv
1	ГС-200, ГДП-200
2	ГС-50, ГДП-50
3	Общие поиски
4	Специальные поиски
5	Детальные поиски
6	Поисково-оценочные работы
7	Поисково-разведочные работы
8	Предварительная разведка
9	Детальная разведка
10	Доразведка
11	Консервация
12	Госрезерв
13	Эксплуатация
14	Месторождение отработано
15	Не рекомендованы (для рекомендованных дополнительных видов ГРР)
16	Региональные прогнозно-металлогенические исследования

17	Глубинное геологическое картирование масштаба 1:200 000
18	Глубинное геологическое картирование масштаба 1:50 000
19	Ревизионные работы (переоценка)
20	Тематические и опытно-методические исследования

6. Словарь: Рудно-формационный тип месторождения

Имя файла: spr_trud. xsl

Словарь рудно-формационных типов месторождений заполняется авторами в процессе формирования Банка Данных по отдельным видам полезных ископаемых. Для формирования словаря предлагается следующая структура файла:

Id trud	Vid trud	Name trud	Хар trud
Номер рудно-формационного типа	Вид полезного ископаемого	Название рудно-формационного типа	Характеристика рудно-формационного типа

7. Словарь: Геолого-промышленный тип месторождения по Госбалансу

Имя файла: spr_tprom. xsl

Словарь геолого-промышленных типов месторождений по Госбалансу заполняется авторами в процессе формирования Банка Данных по отдельным видам полезных ископаемых. Для формирования словаря предлагается следующая структура файла:

Id tprom	Vid tprom	Name tprom	Хар_prom
Номер геолого-промышленного типа	Вид полезного ископаемого	Название геолого-промышленного типа	Характеристика геолого-промышленного типа

8. Словарь: Геолого-тектоническое положение месторождения

Имя файла: spr_gtp. xls

Словарь геолого-тектоническое положение месторождения формируется из объектов, отображенных на карте Геолого-структурного районирования территории России м-ба 1: 5 000 000. Состав словаря будет определен по мере готовности вышеуказанной карты.

9. Словарь: Вид рудовмещающей структуры

Имя файла: spr_rvstr. xls

Id rvstr	Name rvstr	Id rvstr	Name rvstr
0	Неизвестна	33	Котловина
1	Антеклиза	34	Ксенолит
2	Антиклиналь	35	Купол
3	Антиклинорий	36	Купол вулканический
4	Апофиза	37	Лакколит
5	Батолит	38	Массив
6	Блок	39	Массив кристаллический
7	Брахиантиклиналь	40	Массив срединный
8	Брахиантиклинорий	41	Мегантиклиналь
9	Брахисинклиналь	42	Моноклиналь
10	Взброс	43	Мульда
11	Впадина	44	Надвиг

12	Вулкано-купольная структура	45	Некк
13	Вулкано-тектоническая структура	46	Пластина
14	Горст	47	Поднятие
15	Горсто-грабен	48	Поднятие куполовидное
16	Грабен	49	Полоса
17	Грабен-синклиналь	50	Пояс вулканический
18	Дайка	51	Прогиб
19	Депрессия	52	Разлом
20	Депрессия вулканическая	53	Разрыв
21	Жила	54	Сбросо-сдвиг
22	Зона	55	Силл
23	Зона антиклинальная	56	Синклиналь
24	Зона дробления	57	Синклинорий
25	Зона линейная	58	Структура
26	Зона разломов	59	Трубка
27	Зона рассланцевания	60	Факолит
28	Зона складчато-разрывных дислокаций	61	Флексура
29	Зона смятия	62	Шарьяж
30	Интрузив	63	Шток
31	Интрузия	64	Щит
32	Кальдера		

10. Словарь: Содержание документа

Имя файла: srg_doc. Xls

Id doc	Type doc	Id doc	Type doc
1	Детальная разведка	14	Предварительная разведка
2	Детальные поиски	15	Разведка
3	Дополнение к ТЭС	16	Разработка
4	Доразведка	17	Региональные работы
5	Кондиции	18	Списание запасов
6	Консервация	19	Строительство
7	Общие поиски	20	Технологические исследования
8	Оценка перспектив	21	ТЭО
9	Передача-приемка	22	ТЭС
10	Пересчет запасов	23	Утверждение запасов
11	Подсчет запасов	24	Утверждение кондиций
12	Общие поиски	25	Материалы лицензирования
13	Поисково-оценочные работы	26	Научные исследования

11. Словарь: Вид прогнозного объекта

Имя файла: srg_vpl. xls

Id vpl	Name vpl
1	Локальный
2	Площадной

12. Словарь: Минерагенический ранг прогнозного объекта

Имя файла: srg_mrang. xls

Id_mrang	Name_mrang
0	Неизвестен (прогнозная площадь)
1	Металлогеническая зона
2	Потенциальная металлогеническая зона
3	Рудный район
4	Потенциальный рудный район
5	Рудный узел
6	Потенциальный рудный узел
7	Рудное поле
8	Потенциальное рудное поле
9	Месторождение
10	Проявление

13. Словарь: Комплексность прогнозного объекта

Имя файла: spr_com.xls

Id_com	Name_com
1	Моноэлементный
2	Комплексный

Картографическое представление прогнозных объектов в ГИС-формате.

Принципиальной особенностью Банка Данных является хранение в нем информации по площадным объектам, что требует включения в состав Банка Данных их графического представления (карты), а не только координатной привязки как для месторождений полезных ископаемых.

Карта объектов Банка Данных создается в ГИС-пакете ArcView в виде шейп-файлов. Пространственно привязанные данные хранятся неспроецированными в универсальной проекции десятичных градусов. Связь между данными на карте и Банком Данных осуществляется с помощью атрибутивной таблицы, сопровождающей шейп-файл, в которой одновременно хранятся идентификатор объекта в ГИС-файле и уникальный идентификатор прогнозного объекта в Банке Данных.

Карты пространственного распределения формируются в среде ArcView 3.2.

В том случае, когда пространственная информация о прогнозных объектах передается как проект ArcView 3.2, для вида используется равнопромежуточная азимутальная картографическая проекция (центральный меридиан – 100 градусов, центральная параллель – 60 градусов).

В соответствии с рангом прогнозного объекта (см. словарь) пространственные данные должны быть расслоены на 7 отдельных шейп-файлов (тем проекта ArcView 3.2):

- 1) Проявления;
- 2) Месторождения;
- 3) Рудные поля;
- 4) Рудные узлы;
- 5) Рудные районы;
- 6) Металлогенические зоны;
- 7) Прогнозные площади (ранг прогнозного объекта неопределен).

Проявления и месторождения являются локальными прогнозными объектами и отображаются в виде точечных тем. Остальные прогнозные объекты являются площадными и отображаются в виде полигональных тем.

Атрибутивные таблицы в формате DBF, сопровождающие шейп-файлы, в качестве одного из полей в обязательном порядке должны содержать уникальный идентификатор прогнозного объекта в банке данных прогнозных объектов.

В качестве остальных атрибутов прогнозных объектов предлагается включить информацию из таблицы «*Основные характеристики прогнозного объекта*».

ПОРЯДОК ОЦЕНКИ, АПРОБАЦИИ И УЧЕТА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Порядок организации работ по геологии и экономической оценке прогнозных ресурсов регламентируются «Методическими указаниями», разработанными ВИЭМСом с участием головных НИИ во исполнение приказа Министерства природных ресурсов Российской Федерации № 90 от 27.02.2002 г.

Оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых производится по итогам геологоразведочных работ и соответствующих по масштабам металлогенических, прогнозно-металлогенических 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 01.01.2003 (приказ МПР России № 90 от 27.02.2002). Раздельному учету подлежат данные по оценке прогнозных ресурсов распределенного и нераспределенного фонда. Количественная и геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов производится для площадных и локальных перспективных объектов, каждый из которых паспортизируется по единой форме и заносится в ГИС-привязанные банки данных, составляемые для отдельных субъектов Федерации, сопровождаемые картами размещения перспективных объектов масштаба 1:1000 000 с разграфкой листов масштаба 1:200 000.

НИИ МПР РФ апробируют результаты оценок по субъектам Федерации по профилирующим видам минерального сырья и сводят их в ГИС-привязанные банки данных по территории страны в целом с вынесением оцененных перспективных объектов на отраслевые карты масштаба 1:5 000 000.

Прошедшие апробацию перспективные объекты с привязанными прогнозными ресурсами направляются для утверждения в МПР РФ после чего составляется Государственный баланс прогнозных ресурсов и во ВСЕГЕИ для наполнения ГИС «Минерально-сырьевые ресурсы России» и составления интегральной карты рудоносности территории России масштаба 1:5 000 000. 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 предшествующих оценок не проводились какие-либо работы, и представления об их перспективности остались прежними, прогнозные ресурсы и запасы считаются соответствующими принятым при последней оценке. Все материалы представляются на бумажных носителях и в электронном виде.

Состояние и основные изменения в количестве, качестве и категоричности прогнозных ресурсов приводятся в таблицах (прил.5, 6) 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;
- геолого-экономическая характеристика объектов нераспределенного фонда, особенно рекомендуемых для лицензирования высоколиквидных и стратегического значения.

В объяснительной записке должны также найти отражение следующие вопросы:

- перечень 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 металлогенического 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 оценочных работ, представляется в виде расчетных таблиц (прил. 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 организаций.

Прогнозные ресурсы служат для долгосрочного и текущего планирования геологоразведочных работ в масштабах страны и отдельных регионов, а также могут использоваться при проектировании поисковых и оценочных работ. Совокупность таких работ должна обеспечивать получение прироста запасов категории C_2 . Для определения рациональных путей решения этой задачи требуется: оценка прогнозных ресурсов, необходимых для получения намеченных приростов; расчет эквивалентных площадей постановки работ соответствующих стадий и требуемых затрат на работы необходимых стадий. МПР России планируется, начиная с 2004 г., проводить ежегодный мониторинг изменения состояния прогнозных ресурсов полезных ископаемых и издание баланса прогнозных ресурсов полезных ископаемых Российской Федерации (приказ № 90 МПР от 27.02. 2002 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи оценки прогнозных ресурсов в принципе возможно на теоретической, теоретико-эмпирической, формально-статистической и фактической основе.

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. Этот подход пока возможен главным образом на пути использования взаимосвязей характеристик рассеяния и концентрации элементов для оценки прогнозных ресурсов в глобальном, континентальном и региональном масштабах. При этом обычно слабо учитывается специфика геологического строения объекта оценки и полученные решения можно рассматривать лишь как самые общие или контрольные.

Эмпирический подход предоставляет гораздо более широкие возможности использования известных закономерностей связи рудоносности с рудоконтролирующими факторами (в качественном и количественном выражении). Он применим в мелких, средних и крупных масштабах. Одним из основных способов оценки является аналогия, а процесс оценки в существенной мере опирается на опыт, интуицию и знания исследователя как на качественном этапе прогнозирования (металлогеническое районирование, определение типа объекта), так и на количественном (оценка прогнозных ресурсов).

Формально-статистический подход наиболее технологически проработан. Решение обеих задач (выделение перспективных площадей и оценка прогнозных ресурсов в их пределах) обычно объединены в одну операцию ранжирования объектов по ресурсам. Связи между масштабом рудоносности и факторами вмещающей среды обычно устанавливаются по результатам средне- и крупномасштабных, а также детальных исследований с использованием различных методов регрессионного, кластерного, корреляционного анализов. Достоверность оценок может быть определена количественно.

Оценка прогнозных ресурсов на **фактической** основе производится путем их прямого расчета по измеренным параметрам оруденения (детальный, крупный масштабы) или среды (крупный, средний масштабы).

Дальнейшее совершенствование процесса оценки прогнозных ресурсов связано с развитием научной, методической и фактической основы количественного прогнозирования - уточнение общих закономерностей эволюции рудообразования в геологической истории, создание каталога эталонных объектов различного иерархического уровня, маркетинг и доступность для специалистов баланса запасов и прогнозных ресурсов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алискеров В.А., Заверткин В.Л.* Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М., 1998.
2. *Баширов Б.Г., Попов Ю.В.* Вопросы прогнозирования крупных эндогенных месторождений. Обзорная информация. ВИЭМС. М., 1981. 65с.
3. *Бекжанов Г.Р., Бугаец А.Н., Лось В.Л.* Геологические модели при прогнозировании ресурсов полезных ископаемых. М., Недра, 1987. 140с.
4. *Билибин Ю.А.* Общие принципы металлогенических исследований. Изв. АН СССР. сер.геол., 1947, №5, с.95-112.
5. *Блок обработки геофизических данных для решения прогнозных задач.* Руководство пользователя. Методическое пособие. М., 2001 (ВНИИгеосистем). Авт.: Е.Н.Черемисина, О.В.Митракова, М.Я.Финкельштейн, В.С.Андреев..
6. *Богданов Ю.В., Неженский И.А.* Система единиц учета количества минерального сырья в недрах –Рег. геол. и металлогения, 2001, №13-14, с.81-83.
7. *Бугаец А.Н., Вострокнутов Е.П., Вострокнутова А.И.* Применение экспертных систем в геологическом прогнозировании. - Мат. методы и автоматиз. системы в геологии. Обзор. М.: ВИЭМС, 1986. 59с.
8. *Бугаец А.Н.* Автоматизированные системы геологического прогнозирования. Обзор. Экономика минер. сырья и ГРР. М.: ВИЭМС, 1984.
9. *Бугаец А.Н.* Количественные методы прогнозирования месторождений твердых полезных ископаемых. Экспресс-информаци. М., 1986.
10. *Булкин Г.А.* Количественная оценка прогнозных запасов руд. М., Недра, 1984. 129с.
11. *Булкин Г.А.* Оценка поисковых площадей. Методические рекомендации. СПб, 1993. 83с.
12. *Булкин Г.А., Неженский И.А.* Модели для количественного прогнозирования минерального сырья. Л., Недра. 1991, 288с.
13. *Быховер Н.А.* Геолого-экономические основы прогноза минеральных ресурсов. М., Недра, 1978. 232 с.
14. *Быховер Н.А.* Основные принципы и методы прогноза минеральных ресурсов. Обзор ВИЭМС, 1971. 39с.
15. *Временные методические рекомендации по геолого-экономической оценке промышленного значения месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев).* М., ВИЭМС, 1998.
16. *Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века.* Тезисы докладов Всероссийского съезда геологов и научно-практической геологической конференции, т.1-4. СПб, 2000.
17. *Геохимические критерии прогноза и оценки рудных месторождений.* (Отв. ред. С.В.Григорян, Г.Н.Мухитдинов). М., Наука, 1988. 160с.
18. *Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений.* М., Недра, 1974. 193с. (Авт.: М.А.Фаворская, И.Н.Томсон, И.К.Волчанская и др.).
19. *Закон Российской Федерации о недрах.* М., 1992.
20. *Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений.* М.: Недра, 1983. 191с.
21. *Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.* М., МПР РФ, ГКЗ, 1997.
22. *Козловский Е.А., Кривцов А.И.* Моделирование рудных месторождений: направления и задачи - Сов. геология, 1988. №3.

23. *Козловский.Е.А., Щадов М.И.* Минерально-сырьевые проблемы национальной безопасности России. М., изд-во МГГА, 1997.
24. *Количественная* оценка прогнозных запасов и перспективных ресурсов минерального сырья при региональных металлогенических исследованиях /Под ред. Д.В.Рундквиста. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 176 с.
25. *Количественное* прогнозирование при региональных металлогенических исследованиях /Под ред. Д.В.Рундквиста. – Л.: ВСЕГЕИ, 1979. 88с.
26. *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
27. *Константинов Р.М.* Математические методы количественного прогноза рудоносности. – М.: Недра, 1979. 125с.
28. *Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Минаков В.М.* Национальная минерально-сырьевая базоносность. Введение в проблему. М., ЦНИГРИ, 2000. 196с.
29. *Кривцов А.И.* Металлогения и прогноз рудоносности. М., МГРИ, 1985. 103 с.
30. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. М., Недра, 1989. 288с.
31. *Критерии* прогнозной оценки территорий (на твердые полезные ископаемые). Под ред. Д.В.Рундквиста. Л., Недра, 1986. 750с.
32. *Марченко В.В.* Человеко-машинные методы геологического прогнозирования. М.,Недра, 1988. 229с.
33. *Математические* методы при прогнозе рудоносности. М., Наука 1977. 276с.
34. *Методика* геолого-экономической оценки (переоценки) запасов месторождений твердых полезных ископаемых по укрупненным технико-экономическим показателям. М., ВИЭМС, 1996.
35. *Методика* количественной оценки рудоносности геологических комплексов (формаций) по геолого-геохимическим данным при среднемасштабном картировании. Методические рекомендации. М., ИМГРЭ, 2001.
36. *Методические* рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Алма-Ата, КазИМС, 1982. 96с. Сост.: Г.Р.Бекжанов, А.Н.Бугаец, В.Л.Лось.
37. *Методические* рекомендации по количественной прогнозной оценке месторождений и рудопроявлений по их первичным и вторичным литохимическим ореолам. Симферополь, 1979. 123с. (Сост.: Е.П.Захаров. С.И.Кирикилица).
38. *Методические* рекомендации по решению задач прогноза полезных ископаемых с применением ГИС INTEGRO. Методическое пособие. М., 2001 (ВНИИгеосистем). Авт.: Е.Н.Черемисина, О.В.Митракова, М.Я.Финкельштейн, В.С.Андреев
39. *Методические* указания по оценке, апробации и учету прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Российской Федерации по состоянию на 01.01.98 г. М., ВИЭМС, 1997.
40. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вып. I - XV . /Мингео СССР; Редкол.: В.М.Волков (гл. ред.) и др. М.-Л.,1986.
41. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Часть I-VI., 2-е переработанное издание. Мингео СССР; Редкол.: В.М.Волков (гл.ред.) и др. М., 1989.
42. *Методы* количественного прогнозирования ресурсов редких металлов. М., Недра, 1985. 244 с.Авт.: В.В.Иванов, С.М.Бескин,В.М.Бондаренко и др.
43. *Неженский И.А., Булкин Г.А., Бабошин В.А.* Контроль оценок прогнозных ресурсов рудоносных объектов. Методические рекомендации. Л.,1990. 104с.

44. *Неженский И.А., Павлова И.Г.* Методические основы оценки стоимости российских недр. – Минер. ресурсы России, 1995, №4, с. 13-18.
45. *Неженский И.А.* Взаимосвязь природных и экономических характеристик минерального сырья – Отеч. геол., 1997, №6. С. 3-5.
46. *Общие* принципы регионального металлогенического анализа и методика составления металлогенических карт для складчатых областей. Под ред. П.М.Татарина, В.Г.Грушевого, Т.С.Лабазина. М. Госгеолтехиздат, 1957. 150 с.(Матер. ВСЕГЕИ, нов.серия, вып.22).
47. *Орлов В.П.* Геологическое прогнозирование. М., Недра, 1991.
48. *Орлов В.П.* Минеральные ресурсы и геологическая служба России в годы экономических реформ (1991-1999). М., Геоинформмарк, 1999. 271с.
49. *Основные* результаты работ по созданию Государственного банка цифровой геоинформации о недрах и недропользовании в России по сост. на 01.12.1999г. ГлавНИВЦ. М., 1999.
50. *Основы* металлогенического анализа при геологическом картировании. Металлогения геодинамических обстановок. М., 1995. 468с. Авт.: Г.С.Гусев, В.В.Зайков, Е.В.Зайкова и др.
51. *Оценка* прогнозных ресурсов рудоносных площадей. Л., 1987. 280 с. Авт.: И.А.Неженский, Г.А.Булкин, В.А.Бабошин и др. Науч. ред. Д.В.Рундквист.
52. *Плющев Е.В., Шатов В.В.* Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. Л., Недра, 1985.240с.
53. *Положение* о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М., ВИЭМС, 1999.
54. *Принципы* прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Под ред. В.Т.Покалова. М., Недра, 1984. 437с.
55. *Прогнозно-поисковые* комплексы. Отв. ред. А.И.Кривцов. М., ЦНИГРИ. Вып.1-33, 1983-1989.
56. *Региональные* геолого-экономические эталоны при среднемасштабных геологосъемочных работах. Методические рекомендации. СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. 187с. Авт.: Г.М.Беляев, В.Е.Руденко, Н.С.Никольская и др.
57. *Решение* задач прогноза полезных ископаемых с применением ГИС INTEGRO. Руководство пользователя. М., 2001 (ВНИИгеосистем) Авт.: Е.Н.Черемисина, М.Я.Финкельштейн, О.В.Митракова и др.
58. *Рудные* узлы России. Под ред. Е.В.Плющева. СПб, изд-во ВСЕГЕИ, 2001. 416с.
59. *Рудоносность* и геологические формации структур земной коры. Под ред. Д.В.Рундквиста. Л., Недра, 1981. 424с.
60. *Термины* и понятия отечественного недропользования (словарь - справочник).Под ред. Б.А.Яцкевича. М., Геоинформмарк, 2000. 22 п. л.
61. *Термины* и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. Под ред. А.И.Кривцова и В.М.Терентьева. СПб, 1991. 210с.
62. *Феоктистов В.П., Иогансон А.К., Неклюдов А.Г.* Металлогения осадочных бассейнов.СПб, 1997. 75с.
63. *Феоктистов В.П., Иогансон А.И.* Типы обстановок локализации рудных районов в рудоносных осадочных бассейнах. Отечественная геология, 1993, №7. С.15-22.
64. *Харченко А.Г.* Принципы и методы прогнозирования минеральных ресурсов. М., Недра, 1987. 230с.
65. *Чайников В.В.* Экономическая оценка месторождений в рыночных условиях. ВИЭМС, обзорная информация, серия “Экономика мин. сырья и ГРП”, вып.1, М., 1994. 50с.
66. *Cox D.P., Singer D.A.* Eds. Mineral deposits models// U.S.Geol.Surv.Bull., 1986, №1693.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Перечень

твердых полезных ископаемых, по которым проводится количественная
оценка и учет прогнозных ресурсов по состоянию на 1 января 2003 г.

Полезные ископаемые	Единица измерения	Головные отраслевые научно-исследовательские институты, ответственные за апробацию оценки прогнозных ресурсов
1. Железные руды	млн. т	ВИМС
2. Марганцевые руды	млн. т	ВИМС
3. Хромовые руды	млн. т	ВИМС
4. Медь	тыс. т	ЦНИГРИ
5. Никель	тыс. т	ЦНИГРИ
6. Кобальт	тыс. т	ЦНИГРИ
7. Свинец	тыс. т	ЦНИГРИ
8. Цинк	тыс. т	ЦНИГРИ
9. Бокситы	тыс. т	ВИМС
10. Олово	тыс. т	ВИМС
11. Вольфрам	тыс. т WO ₃	ВИМС
12. Молибден	тыс. т	ВИМС
13. Сурьма	тыс. т	ИМГРЭ
14. Ртуть	тыс. т	ИМГРЭ
15. Тантал	тыс. т Ta ₂ O ₅	ВИМС
16. Ниобий	тыс. т Nb ₂ O ₅	ВИМС
17. Титан	тыс. т TiO ₂	ВИМС
18. Цирконий	тыс. т ZrO ₂	ИМГРЭ
19. Литий	тыс. т Li ₂ O	ИМГРЭ
20. Редкоземельные металлы	тыс. т	ИМГРЭ
21. Германий	тыс. т	ИМГРЭ
22. Золото	т	ЦНИГРИ
23. Серебро	т	ЦНИГРИ
24. Платина	т	ЦНИГРИ
25. Алмазы	млн. карат	ЦНИГРИ
26. Уран	тыс. т	ВИМС
27. Уголь	млн. т	ВНИГРИуголь
28. Апатиты	млн. т P ₂ O ₅	ЦНИИгеолнеруд
29. Фосфориты	млн. т P ₂ O ₅	ЦНИИгеолнеруд
30. Калийные соли	млн. т K ₂ O	ЦНИИгеолнеруд
31. Хризотил-асбест	тыс. т	ЦНИИгеолнеруд
32. Сера самородная	тыс. т	ЦНИИгеолнеруд
33. Слюда-мусковит	тыс. т	ВИМС
34. Плавиковый шпат	тыс. т	ВИМС
35. Борное сырье	тыс. т B ₂ O ₃	ВИМС
36. Барит	тыс. т BaSO ₄	ЦНИИгеолнеруд
37. Тальк	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
38. Графит кристаллический	млн.т.	ЦНИИгеолнеруд
39. Магnezит	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
40. Брусит	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
41. Каолин	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
42. Огнеупорные глины	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
43. Bentonиты	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
44. Стекольные пески	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
45. Кварциты	млн. т	ЦНИИгеолнеруд
46. Волластонит	млн.т	ЦНИИгеолнеруд
47. Цеолиты	млн.т	ЦНИИгеолнеруд
48. Полевошпатовое сырье высококалийное	тыс.т	ЦНИИгеолнеруд
49. Горный хрусталь для плавки	т	ВНИИСИМС
50. Кварц для плавки	тыс. т	ВНИИСИМС
51. Пьезооптический кварц	т моноблоков	ВНИИСИМС
52. Исландский шпат	т	ВНИИСИМС
53. Цветные камни	кг	ЦНИИгеолнеруд
54. Комплекс твердых полезных ископаемых зоны континентального шельфа, внутренних и открытых морей, Мирового океана		ВНИИокеангеология ГНЦ «Ожморгеология»

(субъект Российской Федерации)

(наименование организации, производящей оценку)

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов

(наименование объекта оценки, фонд непл, полезное ископаемое)

по результатам
(завершенная стадия геологоразведочных работ)

№№ п/п	Наименование показателей геолого-экономической оценки	Значения показателей
-----------	---	-------------------------

I. Исходные критерии для **оценки** прогнозных ресурсов

1. Геологические показатели прогнозных ресурсов категорий Р3, ?2 и Р.
2. Геолого-экономические параметры известного в районе положительно оцененного месторождения-аналога (запасы, качество сырья, глубина отработки и др.) (для ?2, Р3)
3. Минимальные ресурсы и качество сырья месторождений, представляющих интерес в геологических и экономических условиях прогнозируемой площади (для Р3)

II. Характеристика объекта прогноза

1. Геолого-промышленный тип месторождения
2. Тип руд
3. Морфология тел полезных ископаемых (россыпей)
4. Прогнозные ресурсы руды (песков) (соотв. для Р_б, Р₂, Р3)
- 5» Качество сырья (среднее содержание компонентов, основные направления использования)
6. Прогнозные ресурсы полезных компонентов (соответственно для Р_и, Р₂, Р3)
7. Способ отработки
8. Глубина прогнозирования, м
9. Показатели экономической эффективности
10. Прирост потенциальной ценности недр, руб.

п/п	Наименование показателей геолого-экономической оценки	Значения показателей
-----	---	----------------------

III. Рекомендации о целесообразности постановки на объекте (площади) работ следующей стадии

IV. Очередность (по 3-х бальной системе) проведения работ на прогнозируемом объекте и задачи, решаемые при переводе прогнозных ресурсов в запасы (€2) или ресурсы более высоких категорий.

1 Очередь: Экономически эффективные прогнозные ресурсы для текущего развития сырьевых баз действующих предприятий, создания новых сырьевых баз остродефицитных в стране и отдельных регионах, а также высококонъюнктурных видов полезных ископаемых;

2 Очередь: Экономически эффективные прогнозные ресурсы для формирования резервных объектов минерального сырья в среднесрочной (до 2010 г) перспективе;

3 Очередь: Прогнозные ресурсы для перспективного планирования развития минерально-сырьевой базы.

V. Список источников информации, на основе которых проведена оценка с указанием грифа режимной квалификации

Должность, Ф.И.О.

Дата -----

Подпись-----

* На каждый объект прогноза составляется одно приложение, куда вносятся все категории прогнозных ресурсов, характеризующие общий потенциал прогнозных ресурсов объекта. Основные характеристики его вносятся в сводные таблицы (приложения 3 и 4).

Сводная таблица прогнозных ресурсов------(полезное ископаемое)
 По территории------(Субъект Российской Федерации)
 По-----фонду недр (распределенный)
 По состоянию на 01.01.2003 г.

№№ пп	Металлогени- ческая зона, бассейн, руд- ный район, объект прогно- за	Пло- щадь объек- та, кв.км	Геолого- промыш- ленный тип место- рождений	Тип руды	Глу- бина прог- ноза	Спо- соб отра- бот- ки	Средние содержания компонентов				Запасы и про- гнозные ресурсы				Завершенная стадия ГРР	Стоимость прогнозных ресурсов		Рекомендуемая ста- дия ГРР Очередность прове- дения работ
							P ₃	P ₂	P ₁	C ₂	P ₃	P ₂	P ₁	C ₂		P ₁	P ₂	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
I. Объекты прогноза для проведения геологической съемки м-ба 1:50 000 и крупнее и поисковых работ																		
Всего I группе																		
II. Объекты для проведения оценочных работ																		
Всего по II группе																		
III. Объекты для проведения разведки месторождений																		
Всего по III группе																		
Итого прогнозных ресурсов																		

Примечания:

1. Территориальные органы МПР России (Департаменты государственного контроля и перспективного развития в сфере природопользования и Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды) составляют приложения 3 и 4 для территории субъекта Российской Федерации, в отраслевые НИИ по этим формам – для всей территории Российской Федерации в разрезе её субъектов.
2. В гр.2 приводится перечень всех объектов прогноза.
3. В гр.11 запасы кат. C₂ указываются только по объектам оценочных работ.
4. В гр.9 очередность проведения дальнейших работ приводится по 3-х бальной шкале.

FINAL

Библиотека Морина А.О.

Приложение 4

Сводная таблица прогнозных ресурсов----- (полезное ископаемое)
 по территории деятельности----- (Субъект Российской Федерации)
 По----- фонду недр (нераспределенный)
 По состоянию на 01.01.2003 г.

№ № пп	Металлогеническая зона, бассейн, рудный район, объект прогноза	Площадь объекта, кв.км	Геологический промышленный тип месторождения	Глубина прогноза	Способ отработки	Ожидаемые параметры россыпей								Запасы и прогнозны ресурсы				Завершенная стадия ГРР	Стоимость прогнозных ресурсов		Рекомендуемая стадия ГРР Очередность проведения работ
						мощность торфов				среднее содержание компонентов на массу				Руды					P ₁	P ₂	
						песков				на пласт				компонентов							
						P ₃	P ₂	P ₁	C ₂	P ₃	P ₂	P ₁	C ₂	P ₃	P ₂	P ₁	C ₂		P ₃	P ₂	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. Объекты прогноза для проведения геологической съемки м-ба 1:50 000 и крупнее и поисковых работ																					
2.																					
Всего 1 группе																					
II.Объекты для проведения оценочных работ																					
Всего по II группе																					
III. Объекты для проведения разведочных работ																					
Всего по III группк																					
Итого прогнозных ресурсов																					