

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А.Ф. Коробейников

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебник для вузов

2-е издание, исправленное и дополненное

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 553.3
ББК 26.235.13
К68

Коробейников А.Ф.

К68 Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов; Томский политехнический университет. – 2-е изд., исправленное и дополненное – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 255 с. Табл. 19, рис. 110, библи. 52.

ISBN 978-5-4387-0175-0

В учебнике рассматриваются методы, приемы регионального и локального прогнозирования рудоносных площадей и поисков месторождений полезных ископаемых. Охарактеризованы критерии и признаки оценки промышленной значимости месторождений, геологические основы их прогнозирования и поисков, вопросы комплексирования прогнозно-поисковых методов, методика прогнозно-поисковых работ на разных стадиях геологоразведочного процесса, модели объектов поисков как основа комплексирования рациональных методов и основы опробования полезного ископаемого. Раскрыты особенности регионального, крупномасштабного, локального прогноза оруденения и принципы геолого-экономической оценки выявляемых промышленных объектов. Учебник подготовлен на кафедре геологии и разведки месторождений полезных ископаемых ТПУ.

Предназначен для студентов бакалаврской и магистерской подготовки по направлению «Геология и разведка полезных ископаемых». Может быть использован работниками геологических и горных предприятий, занимающихся прогнозированием и поисками рудоносных площадей и месторождений.

УДК 553.3
ББК 26.235.13

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета
Томского политехнического университета

Издание поддержано в рамках государственного задания «Наука»
(№ 5.4730.2011)

Рецензенты

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
зав.кафедрой геологии, поисков и разведки м.п.и.
Уральского государственного горного университета

В.А. Душин

Руководитель управления по недропользованию по Томской области
А.В. Комаров

ISBN 978-5-4387-0175-0

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2012
© Коробейников А.Ф., 2012
© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Более десяти лет прошло со дня опубликования первого издания учебника «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» для студентов геологических специальностей технических вузов. За прошедший период в геолого-разведочной науке и практике страны произошли существенные изменения по вопросам прогнозирования, моделирования и методам поисков и разведки полезных ископаемых. Эти изменения потребовали пересмотра и переиздания данного учебника применительно к потребностям магистерской программы подготовки кадров высшей квалификации.

Последние десятилетия характеризовались постоянным ростом потребления минерального сырья. Наряду с количественным ростом расширялась и номенклатура потребляемого сырья. В сферу хозяйственного потребления непрерывно вовлекаются все новые нетрадиционные виды полезных ископаемых. Они становятся основой технического и инновационного развития экономики страны. Такой постоянный рост потребления полезных ископаемых обусловил активизацию поисково-разведочных работ как у нас в стране, так и за рубежом. На современном этапе развития геологоразведочных работ актуальной задачей оказалось решение проблемы расширения минерально-сырьевой базы в известных и новых горнопромышленных центрах страны. Потребовалось улучшение географического размещения месторождений с повышенными качествами руд. Стали вовлекаться в производство все более объемные рудные объекты с низкими качественными показателями руд, но имеющих стратегическое значение для ускорения инновационного пути развития экономики. Новые типы месторождений необходимо выявлять там, где они наиболее необходимы для обеспечения расширенного воспроизводства минеральных ресурсов. Развивающиеся отрасли промышленности и сельского хозяйства требуют постоянного вовлечения в хозяйственный оборот новых нетрадиционных типов месторождений. По качеству и условиям отработки, переработки руды должны удовлетворять возрастающим требованиям промышленности.

Одновременно возникла проблема резкого сокращения числа «легко открываемых месторождений» прежде всего в известных горнорудных центрах страны. Это предопределило переход к прогнозированию и поискам трудно открываемых «скрытых» месторождений. В настоящее время открытие новых месторождений полезных ископаемых требует больших коллективных усилий, сочетания научно обоснованных прогнозов с индустриальными методами производства. Сегодня трудно открыть месторождение, выходящее на поверхность, но эти трудности многократно возрастают при поисках скрытого оруденения. Научное прогнозирование и поиски скрытых, глубокозалегающих месторождений требуют постоянной доработки методологических вопросов и новых технологий для мобилизации возможностей современных прогнозно-поисковых методов.

Дальнейшее успешное экономическое развитие страны зависит от интенсификации инновационного пути преобразования науки и образования для исполнения намеченных программ и обеспечение новыми кадрами, вооруженными новыми научными идеями. Интенсификация развития топливно-энергетического комплекса, черной и цветной металлургии, химической промышленности, машиностроения,

строительных материалов, новых нанотехнологий должна обеспечиваться своевременным укреплением и расширением минерально-сырьевой базы страны. Особая роль при этом отводится стратегическим видам минерального сырья – драгоценным, цветным и редким металлам как основы дальнейшего прогресса в развитии нанотехнологий и водородной энергетики. Успешное решение проблем прогнозирования, поисков и оценки месторождений разных видов минерального сырья требует подготовки кадров высшей квалификации, владеющих новыми научными знаниями и прогрессивными технологиями.

Многие десятилетия в вузах страны традиционно преподавалась учебная дисциплина «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», завершавшая профессиональную подготовку горного инженера-геолога. С 1985 года, по инициативе автора она была разделена на два учебных курса: «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» и «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений». Такое разделение единого курса связано с возросшими требованиями к прогнозированию, поискам месторождений и различными подходами к технологиям прогнозно-поисковых и разведочных работ. Читаемый курс «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» относится к блоку специальных профессиональных дисциплин. Он раскрывает геологические обстановки нахождения промышленных месторождений полезных ископаемых и способы наиболее эффективного осуществления их прогнозирования, поисков и оценки. Целью данного курса является освоение студентами методов современных прогнозно-поисковых исследований месторождений полезных ископаемых и умение использовать эти знания в конкретных геологических обстановках на разных стадиях геологоразведочного процесса.

В Томском политехническом институте (ныне политехническом университете) этот учебный курс читается автором с 1984 года. Содержание его прямо или косвенно связано со всеми геологическими дисциплинами. Из них базовыми оказываются «Учение о полезных ископаемых», «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых», «Металлогения», «Формационный анализ», «Структуры рудных полей и месторождений».

Первое издание учебника «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» было предназначено для студентов специальностей «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» и «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» по направлению «Промышленная геология». В связи с переходом на двухуровневую модель подготовки геологических кадров высшей квалификации через бакалавров и магистров возникла необходимость пересмотра содержания данного учебного курса применительно к требованиям Государственного образовательного стандарта (ГОС) к магистерской подготовке геологических кадров.

В соответствии с требованиями ГОС специализированной подготовки магистр должен *освоить* и *овладеть* навыками самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности, требующими широкого образования в направлении «Промышленная геология»; должен *уметь*:

➤ *формулировать* и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и педагогической деятельности и требующие углубленных профессиональных знаний;

➤ *выбирать* необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования;

➤ **обрабатывать** полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющихся литературных данных;

➤ **вести** библиографическую работу с привлечением современных информационных технологий (ГИС);

➤ **представлять** итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати.

Кроме того, магистр должен уметь составлять и реализовывать научно-исследовательские, научно-производственные и иные инновационные проекты по заданиям Управлений по недропользованию Министерства природных ресурсов Российской Федерации.

Учебный курс «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» состоит из трех частей:

часть I – Прогнозирование рудных полей и месторождений;

часть II – Поиски месторождений полезных ископаемых;

часть III – Опробование и оценка полезных ископаемых.

Прогнозирование рудоносных площадей и месторождений осуществляется на всех стадиях геологоразведочного процесса. Геологический прогноз опирается на эволюционные закономерности геологического развития земной коры, на количественные петрологические, геофизические, геохимические модели рудных объектов и процессов рудообразования. Прогнозные исследования предшествуют и завершают выполнение каждой стадии геологоразведочного процесса.

Подготовке учебника к переизданию предшествовало издание двух учебных пособий по данному учебному курсу, составленных автором в 2007 году: «Прогнозирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. -200с.» и «Моделирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. -190с.». Материалы этих пособий частично вошли в переиздаваемый учебник «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых».

При подготовке учебника к изданию существенную помощь оказали сотрудники кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Томского политехнического университета А.К. Мазуров, В.Г. Ворошилов, Ю.С. Ананьев, В.К. Бернатонис. Особую признательность автор выражает Е.И. Мизюркиной за макетирование рабочего варианта учебника, а также рецензентам рукописи профессору, доктору геолого-минералогических наук, зав. кафедрой геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Уральского государственного горного университета В.А. Душину и доктору геолого-минералогических наук, профессору, зав. кафедрой петрографии Томского государственного университета АИ. Чернышову.

1. Исторический очерк

Первые знания о поисках полезных ископаемых зародились в далекой древности. Издавна человек использовал горные породы, руды, минералы для изготовления разнообразных бытовых изделий. О значении разных народных знаний по поискам и разработке полезных ископаемых можно судить по археологическим данным. Они свидетельствуют об активной добыче, переработке и широком применении природных материалов людьми еще до образования племенных союзов и

первых государств. В палеолите и мезолите использовались только обломки горных пород и минералов, их агрегатов. В неолите появились первые лепные глиняные сосуды и изделия из камня. В «бронзовый век» (4 – 1 тыс. лет до н. э.) человек создавал сплавы меди с оловом, сурьмой, свинцом, серебром и занимался поисками и добычей руд этих металлов. На территории Урала, Сибири, Казахстана, Средней Азии активные поиски и разработка руд, добыча глин, соляных растворов для извлечения соли проводились в этот «бронзовый» век. Они теперь называются как чудские копи (по племенам «чудь»). Расцвет чудского рудного промысла относится к 12 веку до н. э., а завершение – в 5 веке до н. э.. В этот исторический период опыт поисков и использования полезных ископаемых передавался из поколения в поколение людей сначала устно, а затем и в письменной форме.

С образованием племенных союзов и возникновением городов горный промысел расширился. Активизировались поиски, добыча и переработка болотных железных руд, а также медных, оловянных, золотых, серебряных руд, поделочных и драгоценных камней, природных минеральных красок на территориях Европы, Руси и Азии. Например, в IX– XIII веках: в Киевской, Новгородской, Владимиро-Суздальской, а позднее в XIV–XVII в. в Московской Руси городскими и сельскими ремесленниками широко использовались многие руды, минералы и металлы. Активно выполнялись их поиски. В этот период на Руси наблюдалось процветание горного промысла, в том числе соляного. Для добычи соляных рассолов проводились скважины глубиной до 100 м. Такие скважины и шурфы закреплялись деревянными трубами. В сохранившейся рукописи 1363 г. в «Старой Руссе» описывается техника бурения скважин – как бурить, как закреплять и сохранять от обвалов стенок ее, как брать пробы и вести записи. Приведем часть росписи «Росписи, как зачати делати новая труба на новом месте». На севере Карелии в XV в. активно проводились поиски и добыча слюды, используемой для «остекления» окон. Организовывались экспедиции на поиски руд меди и серебра.

В XVII в. в России началась рудоискательская горячка, особенно на Урале. Было открыто несколько месторождений меди, железа. В 1635 году был построен первый медный рудник на медистых песчаниках Урала и солеваренный завод в Соликамске. В 1632 году Михаил Романов разрешил строительство первого железодельного-чугунолитейного завода под Тулой. Исходной рудой служили болотные гетит-лептохлоритовые образования. Расширению рудоискательских работ в России способствовала организация в XV веке Приказа каменных дел. С этого периода начались систематические экспедиционные исследования на Урале и в Сибири – Рудном Алтае и Забайкалье. В 1640–1643 г.г. землепроходец В. Поярков проводил поиски свинца и серебра в Забайкалье и Якутии. В 1696 году в Нерчинске был построен серебро-свинцовый перерабатывающий завод. Широким поисковым работам способствовало образование в 1675 г. «Уральского золото-серебряного товарищества», а в 1676 г. – «Товарищеского общества» для поисков и разведки руд на Каме, Оке, Волге и других местах Центральной России.

Период царствования Петра I ознаменовался активными поисками, разведкой и разработкой минеральных богатств во многих регионах России. Для координации этих работ в 1700 году был учрежден «Приказ рудных дел», а в 1719 году он был заменен «Берг коллегией». Развитие заводской промышленности велось в основном за счет приданных заводам крепостных крестьян. Для решения кадровой проблемы в 1721 г. в Уральском горном округе были открыты первые горные школы. С 1723 г. они были переведены в г. Екатеринбург и преобразованы в Горное училище. В.Н.

Татищевым в тот же период был составлен первый Горный устав. Активно развивались ранее образованные Уральские, Карельские и формировались новые Нерчинский, Алтайский горнозаводские районы. Это способствовало систематическому сбору минералогических коллекций для организованной в Санкт-Петербурге Кунсткамеры.

Успехи естественноисторических, технических наук и потребности нарождающейся промышленности подготовили условия для создания в 1725 г. Российской академии наук. Она организовывала геологические экспедиции в Крым, Кавказ, на Урал, Алтай и другие районы Сибири. Публиковала экспедиционные материалы. Тем самым активно популяризировала научные знания по геологии, горному делу и другим естественным наукам. Особенно много было сделано в этом направлении М.В. Ломоносовым. В его трудах «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (1757 г.), «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763 г.) были разработаны основополагающие теоретические и прикладные вопросы геологии и горного дела. М.В. Ломоносов прочитал в университете обзорные лекции «Естественная история руд» и «Первые основания горной науки». В своих научных трудах и лекциях он объясняет происхождение руд, жил, россыпей и пластов горных пород; приводит систематизированную характеристику поисковых признаков на коренные месторождения полезных ископаемых. Характеризует способы поисков коренных руд по валунам, галькам в руслах рек и по обломкам руд на склонах их. Тем самым М.В. Ломоносов научно обосновал обломочно-речной метод поисков руд, успешно работающий и в наше время. Он активно пропагандировал достижения крупнейшего исследователя средневековья Агриколы, опубликовавшего в 1553 г. капитальный научный труд «О горном деле и металлургии».

В 1773 г. в Санкт-Петербурге открывается Высшее горное училище. Впоследствии оно было преобразовано в Корпус горных инженеров, а затем в Горный институт (ныне технический университет). В этом учебном заведении готовились специалисты по горному делу и геологии, поискам и разведке месторождений полезных ископаемых. В 1825 г. в России организован «Горный журнал», в котором публиковались научные и прикладные материалы по горному и геологоразведочному делу.

Последователи Ломоносова – В.М. Севергин, М.И. Кокшаров, И.Г. Гавеловский, И.А. Шлаттер, С.Г. Войслов, В.С. Реутовский, Б.И. Бокий много внесли в становление поисково-разведочной науки. Например, И.А. Шлаттер разработал приемы поисков рудных жил по их окисленным выходам, геоморфологическим и ботаническим поисковым признакам; общие приемы поисков, принципы размещения горных выработок при разведках. В 1825 г. И.Г. Гавеловский опубликовал в Горном журнале научный труд «О разведке гор и о средствах отыскания частных месторождений». В 1840 г. М.М. Карпинский в научной статье «О золотоносных россыпях» дал подробное описание разведок и опробования россыпных месторождений золота. В очерке С.Г. Войслова «О разведке пластовых, гнездовых и жильных месторождений» впервые дан математический анализ для определения оптимального расстояния между поисковыми и разведочными выработками. В.С. Реутовский в тот же период создал и опубликовал руководство по поискам и разведке месторождений золота («Поиски и разведка золота», 1899 г.). В 1914 г. Б.И. Бокий в практическом курсе Горного искусства дал анализ методов разведки каменных углей и успешно применил математические методы к решению некоторых разведочных задач. Труды этих и других российских ученых заложили основы для последующего оформления учения о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Их научные

труды и в настоящее время широко используются геологами в своей научной и практической работе.

В 1807 г. в России создается Горный департамент, преобразованный в 1834 г. в Корпус горных инженеров. В 1882 г. при Горном ведомстве оформился Геологический комитет, а в 1918 г. – Сибирский геологический комитет. Они координировали и организовывали работы по поискам и разведке месторождений полезных ископаемых на всей территории России.

В 1930 г. В.В. Котульским в ЛГИ была организована кафедра разведочного дела, которую затем возглавил С.В. Кумпан. В том же году в Московском геологоразведочном институте (ныне Российском государственном геологоразведочном университете) В.М. Крейтером была основана кафедра методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, а в Томском политехническом институте (ныне политехническом университете) Б.И. Степановым создана кафедра геологии и разведки месторождений полезных ископаемых.

Современные научные основы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых создавались трудами многих поколений российских геологов, среди которых, кроме перечисленных, следует назвать: А.Д. Архангельского, А.Г. Бетехтина, Ю.А. Билибина, В.И. Вернадского, А.А. Гапеева, М.Н. Альбова, Г.А. Гамбурцева, А.Н. Заварицкого, В.А. Обручева, В.И. Смирнова, С.С. Смирнова, Н.М. Страхова, М.А. Усова, А.Е. Ферсмана, Ф.Н. Шахова и многих других. Большое влияние на развитие теоретических основ поисков, разведки, опробования и подсчета запасов полезных ископаемых оказали исследования Н.В. Барышева, В.М. Борзунова, П.Л. Каллистова, А.Б. Каждана, К.Л. Пожарицкого, А.П. Прокофьева, В.В. Аристов, А.П. Прокофьева, О.Е. Погребницкого, Г.С. Поротова, В.Ф. Мягкова, Г.Р. Бекжанова, Н.И. Сафронова, А.П. Соловова, В.З. Фурсова, А.Г. Харченкова, Л.И. Четверикова и др. Значительный вклад в разработку методологических основ прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых сделан сотрудниками научно-исследовательских институтов ВИМСа, ВИЭМСа, ВСЕГЕИ, ДВИМСа, КазИМСа, САИГИМСа, СНИИГГИМСа, ВостСНИИГГИМСа, ВНИИ Океангеологии, ЦНИГРИ, НИИ Зарубежгеология, Академии наук ИГЕМ, ОИГГМ СО РАН, ведущих вузов России – СПбГИ, МГУ, РГГРУ, ТПУ, ИТГУ, УГГУ, ТГУ и др.

В самостоятельную научную дисциплину «Учение о поисках и разведке полезных ископаемых» в нашей стране оформилось в 1924–1930 г.г. Первые учебные руководства по разведочному делу (и поискам) были опубликованы в Ленинграде в 1929 г. И.С. Васильевым, в 1934 г. – С.В. Кумпаном, а в 1937 г. – И.С. Васильевым и Е.О. Погребницким. Первый учебный курс разведочного дела был прочитан в 1924 г. в Томском технологическом институте инженером И.С. Васильевым, а в Петроградском горном институте инженером К.П. Марковым. С 1927 года этот курс читался И.С. Васильевым в Ленинградском горном институте. В 1940 г. опубликован капитальный труд В.М. Крейтера «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», рекомендованный в качестве учебника для студентов геологических специальностей вузов. Этот учебник выдержал несколько изданий и до сих пор не потерял своего значения. В нем сформулирована современная структура и содержание общепринятой учебной дисциплины в вузах страны. В 1968 г. коллективом авторов (В.В. Аристов, А.А. Беус, А.В. Дружинин, О.А. Глико, Д.И. Горжевский, В.Н. Козеренко, Г.И. Россман, Н.И. Сафронов, Ю.В. Якубовский) под руководством В.М. Крейтера была издана книга «Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых». Том I. В ней подведены итоги разработки учения о поисках

и разведке месторождений полезных ископаемых и дан анализ состояния теоретических основ современного учения о поисках месторождений.

Затем появились специальные работы, учебные пособия и учебники В.И. Красникова «Основы рациональной методики поисков рудных месторождений (1959, 1965 г.г.)»; В.В. Аристова «Поиски твердых полезных ископаемых (1975 г.)»; «Методика поисков твердых полезных ископаемых (1984 г.)», Е.О. Погребницкого, С.В. Парадеева, Г.С. Поротова, Н.И. Руденко, А.В. Скропышева, В.И. Тернового «Поиски и разведка полезных ископаемых (1984 г.)»; А.Б. Каждана «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (1984 г.)»; В.Л. Барсукова, С.В. Григоряна, Л.Н. Овчинникова «Геохимические методы поисков рудных месторождений (1984 г.)»; В.А. Алексеенко и Г.В. Войткевича «Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых (1979 г.)»; А.А. Беуса и С.В. Григоряна «Геохимические методы поисков рудных месторождений (1975 г.)»; Е.М. Квятковского «Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений (1977 г.)»; В.В. Поликарпочкина «Вторичные ореолы и потоки рассеяния (1976 г.)»; Ю.Е. Саёт «Вторичные ореолы и потоки рассеяния (1982 г.)»; А.П. Соловова «Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых (1985 г.)»; В.А. Кирюхина, А.И. Короткова, С.Л. Шварцева «Гидрогеохимия (1993 г.)»; Г.А. Голевой «Гидрогеохимия рудных элементов (1977 г.)»; В.И. Морозова «Литохимические аномалии в зоне гипергенеза (1992 г.)»; Л.И. Четверикова «Методологические основы опробования пород и руд (1980 г.)» и «Теоретические основы моделирования тел полезных ископаемых (1968 г.)». В 1998 г. опубликован учебник для студентов вузов А.Ф. Коробейниковым и В.С. Кузевым «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых» (Томск), а в 1999 году в Екатеринбурге А.Г. Баранниковым – учебное пособие «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых».

Кроме того, были изданы многочисленные инструкции и методические указания по прогнозированию и поискам различных видов полезных ископаемых. Проблемы прогнозирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых обсуждались также в научных сборниках, монографиях, издаваемых академией наук, отраслевыми НИИ и вузами страны. Вопросы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых рассматриваются в научных журналах «Разведка и охрана недр (Москва)», «Геология и охрана недр (Алматы)», «Известия вузов. Геология и разведка (Москва)», «Геология и геофизика (Новосибирск)», «Геология рудных месторождений (Москва)», «Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (Иркутск)», «Известия ТПУ серия «Науки о Земле» (Томск)» и др.

2. Систематика месторождений для целей прогноза и поисков

Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых основаны на рудно-формационном и геолого-промышленном анализе природных объектов. Исследователи должны иметь представление о геолого-минералогических особенностях перспективных и промышленных типов ожидаемого рудного поля, рудного месторождения. Для целей прогнозирования и поисков рудных объектов используются классификации рудных формаций, объединенных общностью парагенетических ассоциаций рудообразующих минералов, условиями формирования, связями с геологическими процессами и другими факторами.

Классификация рудных формаций по В.А.Кузнецову

Группа рудных формаций	Ряд рудных формаций	Рудная формация
I. Ранних (геосинклинальных) стадий развития складчатых областей	Связанный со спилит-диабазовой и кварц-кератофировой вулканическими формациями	Медноколчеданная (В.о.) Колчеданно-полиметаллическая (В.о.) Марганцевая (В.о.) Самородной меди (Г)
	Связанный с альпинотипными гипербазитами	Хромитовая (М) Хромит-асбестовая (Г) Тальковая (Г)
	Связанный с интрузиями габбро-плагиогранитной группы	Титаномагнетитовая (М) Медно-никелевая (М) Магнетитовая (С) Кварц-золоторудная (Г) Платиновая (М) Меднорудная (С)
II. Средних (инверсионных) стадий развития складчатых областей	Связанный с формацией гранитоидных батолитов	Редкометальных пегматитов (Г) Слюдяных пегматитов (Г) Редкометальная грейзеновая (Гр) Магнетитовая скарновая (С) Редкометальная альбититовая (Га) Кварц-касситеритовая (Гр) Кварц-вольфрам-молибденитовая (Гр) Кварц-золоторудная (Г)
	Связанный с формацией гранитоидных батолитов пестрого состава	Магнетитовая скарновая (С) Вольфрам-молибденовая скарновая (С) Золото-сульфидная скарновая (Г) Кварц-золоторудная (Г) Свинцово-цинковая (Г)
	Связанный с эффузивными формациями базальт-андезитлипаритовой группы	Золото-серебряная (Г) Золото-висмут-теллуровая (Г) Мышьяковая (реальгаровая) Ртутная опалитовая (Г) Самородной серы (В.о) Олово-полиметаллическая (Г) Оловянная риолитовая (Г)
III. Поздних (орогенных) стадий развития складчатых областей	Связанный с субвулкано-генными интрузивными формациями габбро-диорит-гранитной группы	Магнетитовая скарновая (С) Меднорудная скарновая (С) Мышьяково-кобальтовая (Г) Кварц-касситеритовая (Г) Сульфидно-касситеритовая (Г) Флюорит-барит-сидеритовая и др.
	Связанный с субвулканическими гранитами и щелочными интрузивными комплексами	Вольфрамовая грейзеновая Медно-молибденовая (Г) Свинцово-цинковая скарновая (Г). Бороносная скарновая Кварц-касситеритовая (Г) Сульфидно-касситеритовая (Г)
	Связанный с самостоятельными малыми интрузиями поздних этапов развития складчатых областей	Колчеданно-полиметаллическая Барит-полиметаллическая Золото-сульфидная (Г) Кварц-золоторудная (Г)

IV. Платформенных областей	Связанный с трапповыми комплексами	Титаномагнетитовая (М) Магномагнетитовая (С) Медно-никелевая сульфидная (М) Свинцово-цинковая (Г) Исландского шпата (Г)
	Связанный с ультраосновными щелочными интрузиями и кимберлитами	Редкометальная карбонатитовая (М) Апатит-магнетитовая (М) Нефелиновая (М) Алмазная (М)
V. Областей тектономагматической активизации	Связанный с малыми интрузиями щелочных базальтоидов	Золото-сульфидная (Г) Золото-серебряная (Г) Флюоритовая (Г) Свинцово-цинковая (Г) Сурьмяно-вольфрамовая (Г) Ртутная (Г)
	Связанный с внемагматическими источниками	Ртутная (Г) Свинцово-цинковых руд (Т) Медистых песчаников (Т) Ртутная телетермальная и др.

Примечание. В скобках указана генетическая принадлежность рудных формаций: М – магматическая; С – скарновая; Г – гидротермальная; Т – телетермальная; Гр – грейзеновая; В.о. – вулканогенно-осадочная.

В.А. Кузнецовым [1975] предложена классификация рудных формаций, охватывающая широкий круг твердых полезных ископаемых. Она учитывает геотектонический режим образования месторождений и взаимосвязь их с определенными геологическими формациями. Классификация основана на геосинклинальной теории развития геологических процессов (см. табл. 1). Разработанная В.И. Смирновым и др. [1986] геолого-промышленная классификация рудных месторождений приведена в табл.2. Она включает данные по главным видам минерального сырья. Геолого-промышленные типы неметаллических полезных ископаемых приведены в классификациях В.М. Крейтера, В.Ф. Дыбкова, В.П. Попова, И.Ф. Романовича, П.М. Татаринова, в которых неметаллические разности полезных ископаемых разделены по сферам практического использования; по минералого-петрографическим особенностям (И.Ф. Романович); по видам природных образований (каменные материалы, минеральное сырье); области использования в промышленности (В.П. Петров) (см. табл. 3). Классификация каменных углей включает условия их образования и качественные характеристики – с выделением бурых, каменных углей, антрацитов. А.Б. Каждан [1984] для целей прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых считает более приемлемой группировку промышленных типов месторождений по формационному принципу. На основе формационных построений П.А. Строна [1978] выделил 35 важнейших геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых.

Таблица 2

Главные геолого-промышленные типы рудных месторождений
(по В.И.Смирнову и др.)

Геолого-промышленный тип	Fe	Mn	Cr	Ti	V	Al	Ni	Co Zn	Cu	Pb	Sn	W	Mo	Bi	Sb	Hg	As	Ag	Pt	Li	Be	Nb Ta
Раннемагматический			⊕			⊕													+			+
Позднемагматический	⊕		⊕	⊕	⊕														+			
Магматический ликвационный							⊕	⊕	⊕										+			
Пегматитовый											+									⊕	⊕	+
Грейзеновый												+	+	+	+				+			
Скарновый	⊕								+	+	+	+	⊕	+	+			+	+			
Плутоногенный гидротермальный							+	⊕	⊕	+	⊕	⊕	⊕	+	⊕	+	⊕	+				⊕
Вулканогенный гидротермальный	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	⊕	+	+				+
Колчеданный									⊕	⊕									+			
Стратиформный								+	⊕	⊕					⊕	⊕		+				
Кор выветривания	+	⊕		+	+	⊕	+	+														+
Россыпи			+	⊕	+							+	+				+	+				+
Вулканогенно-осадочный	+	+		+																		
Осадочный	⊕	⊕			+	⊕																
Метаморфогенный	⊕	+		+	+	+				⊕	+							⊕				

Примечание. Обведены кружком главнейшие промышленные типы месторождений

Морфоструктурный подход к анализу рудных полей и месторождений предложен П.Ф. Иванкиным [1970 г.]. Этот подход базируется на положении о том, что эндогенные рудные поля и месторождения рассматриваются как конкретные продукты рудномагматических систем или направленных геохимических потоков. Они проявляются в различной геологической обстановке, обладают морфологией и внутренним строением. Задачами такого анализа являются: 1) объемное картирование рудоносных структур, выявление трехмерной модели и параметров объекта; 2) изучение внутреннего строения и структурно-вещественной зональности; 3) реставрация направления потока рудообразующих растворов; 4) оценка вертикальной протяженности, степени эродированности рудных полей и прогноз скрытого оруденения; 5) систематика рудных полей и месторождений на морфогенетической основе для целей поисков, детального и локального прогноза. П.Ф. Иванкин выделяет ореольные, однокорневые, многокорневые, конические, уплощенно-конические и плоские односторонние, двусторонние, симметричные, асимметричные, крутые, наклонные, пологие рудные поля [Атлас морфоструктур..., 1973 г.] (табл. 4).

Схема сопоставления классификаций неметаллических полезных ископаемых

В.М.Крейтер, 1960	В.Ф.Дыбков и др., 1969; П.М.Татаринов, 1975	И.Ф.Романович, 1982	Неметаллические полезные ископаемые СССР, ред. В.П.Петров, 1984
<p>1. Сырье для металлургии</p> <p>2. Сырье для химической промышленности</p> <p>3. Индустриальное сырье</p> <p>4. Строительные материалы</p>	<p>1. Индустриальное сырье (алмаз, графит, слюды, керамическое сырье, волластонит, корунд, наждак, высокоглиноземистое сырье, асбест, тальк, тальковый камень, магнезит, пьезокварц, плавиковый шпат, барит, исландский шпат, агат)</p> <p>2. Химическое сырье (фосфаты, сера, минеральные соли, гипс, ангидрид, бор, минеральные пигменты)</p> <p>3. Строительные материалы (глина, карбонатные породы, песок и гравий, песчаники и кварциты, диатомиты, трепелы, опок, изверженные и метаморфические породы)</p>	<p>1. Месторождения элементов (фосфора, серы, калия, магния, натрия, хлора, бора, фтора)</p> <p>2. Месторождения промышленных минералов (барита, магнезита, брусита, талька, асбеста, цеолитов, алмазов, графитов, слюд, полевого шпата, волластонита, корунда, высокоглиноземистых минералов, агата, пьезокварца, исландского шпата)</p> <p>3. Месторождения горных пород (диатомитов, трепелов, опок, гипса, ангидрида, карбонатных пород, фарфоровых камней, глин, каолинов, песков, песчано-гравийных материалов, песчаников, кварцитов шунгитового сырья, магматических пород)</p>	<p>КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</p> <p>1. Технические: ограниченные (драгоценные) камни, самоцветы; поделочные (цветные) камни; пьезооптические материалы; абразивные материалы; изоляционные материалы и наполнители; огне-, косо-то- и щелочупорные камни; формовочные материалы; фильтровальные сорбенты, катализаторы</p> <p>2. Строительные: облицовочные камни; пыльные (стенные) камни; колотые и тесаные камни; дробленый материал</p> <p>МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ</p> <p>1. Горнотехническое: флюсы и плавни; огнеупорное, керамическое, стекольное сырье; цементное сырье; сырье для пористых наполнителей; сырье для каменного литья</p> <p>2. Горнотехническое: агрохимическое сырье; химическое сырье; минеральные пигменты</p>

Пример типизации золоторудных полей по морфогенетическим признакам (Атлас морфоструктур..., 1973 г.)

Тип золотоносных рудноаматических систем	Рудное поле (месторождение)	Относительная глубина залегания корней поля	Относительные размеры площади поля	Количество рудных узлов в поле	Преобладающий тип фигур рудных узлов	Угловые параметры фигуры рудного поля			Кoeffициент линейности рудного поля (а/б)	Относительная вертикальная протяженность рудного поля (а/б)
						угол наклона оси фигуры	углы конусности фигур в верхней части	углы конусности фигур в нижней части		
МНОГОКОРНЕВЫЕ ПОЛЯ										
Ореолы кварцевых жил и штокерки с корнями в диоритовых силлаксолитах	Коммунар	Мелкокорневое	Средние	6-7	Уплощенно-конический, двусторонний	75-90°	60-115°	35-40°	4,6-6,5	1,0-4,0
Пучки кварцевых жил и даек с корнями в батолитах	Ольховское, Медвежье, Саралинское, Берикуйльское и др.	Средне-, реже глубококорневые	Крупные и средние	10	Уплощенно-конический, односторонний	30-50°	45-90°	30-40°	3,2-4,0	1,0-2,5
Пучки кварцевых жил с корнями в диалит-пир-плутонах	Степняк, Джеламбет, Бестюбе	Преобладают глубококорневые	Средние, реже крупные	4-8	Уплощенно-конический, двусторонний Конический, односторонний	90°	120°	60°	5,0	1,0
ОДНОКОРНЕВЫЕ ПОЛЯ										
Пучки кварцевых жил и контрастно дифференцированных даек с глубинными корнями	Бакырчик	Глубококорневые	Небольшие	1	Плоский, двусторонний	?	100°	50°	20,0	4,0
Аматические пучки и свиты кварцевых жил с корнями в метаморфических породах	Советское	Глубококорневые	Небольшие	1	Плоский, односторонний	40°	50-60°	-	10,0	3,0

Примечание: а – максимальная длина, б – ширина, в – вертикальная протяженность рудного поля.

3. Принципы изучения недр и стадии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые

3.1. Принципы изучения недр

В полном объеме недра Земли недоступны для наблюдения и изучения. Поэтому они исследуются выборочным путем посредством сети пространственно разобщенных точек наблюдений в естественных обнажениях, горных выработках, буровых скважинах. От густоты сети наблюдений зависит полнота и достоверность информации по геологическому строению, прогнозным ресурсам, запасам сырья изучаемого рудного района, рудного узла, рудного поля или месторождения.

Геологоразведочный процесс в конечном итоге всегда направлен на выявление и оценку ресурсов, затем запасов залегающих в недрах полезных ископаемых. Министерством природных ресурсов Российской Федерации определяется последовательность и полнота геологического изучения недр с целью обеспечения рационального использования, воспроизводства и охраны минерально-сырьевых ресурсов страны. В основу прогнозирования, поисков и разведки любого месторождения заложены единые подходы и принципы. А.Б. Каждан [1984] в основу методологического подхода к изучению недр определил такие положения: 1) принцип последовательных приближений, 2) принцип аналогии, 3) принцип выборочной детализации наблюдений.

По *принципу последовательных приближений* изучение недр осуществляется от общего к частному. При прогнозе, поисках и разведке полезных ископаемых изучение начинается с выделения крупных рудоносных площадей – минерагенических провинций, минерагенических зон, рудных районов и отбраковки заведомо безрудных территорий. После этого производится более детальное изучение выявленных рудоносных площадей с последовательным выделением наиболее продуктивных структур и участков, отвечающих рангам рудных узлов и рудных полей. Завершается процесс обнаружением, оценкой и разведкой месторождений полезных ископаемых с подсчетом прогнозных ресурсов и запасов минерального сырья. Дается геолого-экономическая оценка значимости запасов. Реализация принципа последовательных приближений происходит путём разделения общего геологоразведочного процесса на этапы и стадии, которые и обеспечивают последовательные приближения в познании месторождений как конечных продуктов общего процесса геологических исследований.

Принцип аналогии базируется на сходстве условий залегания, строения, состава и масштаба месторождений, сформированных в близких геологических условиях. Общими свойствами обладают формационные и геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых. Степень подобия рудных объектов всегда выше у близко расположенных объектов. Ещё большим подобием обладают рудные залежи конкретного рудного поля и месторождения, особенно смежные участки их. С позиции принципа аналогии необходимо создавать аналоги – эталоны объектов для решения прогнозно-минерагенических, поисковых и разведочных задач. Такие проблемы решают разрабатываемые методы и приемы моделирования рудоносных площадей и рудных месторождений.

Принцип выборочной детализации предусматривает сочетание геологоразведочных работ в объеме всего объекта исследований с выборочными, более детальными работами на отдельных участках. Важно правильно выбрать эталонные участки и обеспечить рациональное сочетание общих и детализационных работ и оптимальную степень геологических наблюдений. Участки детализационных работ, как эталоны-аналоги, должны быть представительными для изучаемого объема недр. При выполнении поисков опережающие детализационные работы проводятся на рудопроявлениях, геофизических и геохимических аномалиях, а при разведке – на типичных участках месторождений, рудных зон или залежей. На эксплуатируемых объектах в качестве эталонов-аналогов выступают типовые отработанные участки месторождений.

В.М. Крейтер [1961] основными положениями разведочных работ считал: 1) принцип полноты исследования, 2) принцип последовательных приближений, 3) принцип равномерности (равной достоверности), 4) принцип наименьших трудовых и материальных затрат, принцип наименьших затрат времени.

Принцип полноты исследования основан на необходимости относительно полного и всестороннего изучения всех участков объекта. Он включает такие требования: 1) оконтуривание всего месторождения, всех составляющих его залежей полезного ископаемого, 2) полное пересечение полезного ископаемого или рудной зоны разведочными выработками, 3) полное и всестороннее изучение качества полезного ископаемого и сопутствующих минеральных скоплений; 4) использование всех данных для выяснения гидрогеологических, инженерно-геологических, горно-технических особенностей месторождения.

Принцип последовательных приближений по содержанию аналогичен такому А.Б. Каждана.

Принцип равной достоверности вытекает из требования равномерного изучения всего разведываемого месторождения. Он основан на следующих положениях: 1) равномерного изучения разведочными выработками всего месторождения или его участков при одной стадии работ; 2) равномерное распределение пунктов опробования в отдельной выработке или участке месторождения; 3) применение на разных участках объекта одинаковых или близких разведочных средств, дающих соизмеримые результаты; 4) применение равнозначных и равноточных методов изучения вещества.

Принцип наименьших трудовых и материальных затрат предполагает, что количество разведочных выработок, количество проб и объемы всех видов исследований должны быть минимальными, но достаточными для решения поставленных задач разведки. Этот принцип предостерегает исследователей от возможности «переразведки» месторождения, т.е. от избыточности информации.

Принцип наименьших затрат времени выражает необходимость проводить разведку месторождения в кратчайшие сроки, не нарушая других принципов разведочных работ. Только в особых случаях допускается проведение разведочных работ с некоторыми отступлениями от других принципов разведки.

Современные требования экономики страны требуют от геологов проведения всего геологоразведочного процесса от обнаружения месторождения до его полного исследования с подсчетом запасов сырья и передачи его в эксплуатацию в период от

7 до 10 лет. В этом случае геологоразведочные работы оказываются наиболее эффективными.

3.2. Этапы и стадии геологоразведочных работ

Проведение геологоразведочных работ в различных регионах проводится последовательно от этапа к этапу и от стадии к стадии, согласно принципу последовательного приближения при изучении недр. Общие подходы к проведению геологоразведочных работ были основаны В.М. Крейтером, затем они получили развитие в работах А.Б. Каждана, Е.О. Погребицкого, В.А. Ларичкина и других геологов. И уже в 1984 г., затем в 1998, 2006 г.г. Министерством Геологии СССР, впоследствии Министерством природных ресурсов Российской Федерации, были сформулированы «Положения о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям» (см. табл. 5).

Таблица 5

Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые) (1999)

Этап, стадия	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения			
<i>Стадия 1.</i> Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых	Территория Российской Федерации, ее крупные геолого-структурные, административные, экономические, горно-рудные 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.	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.	Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1:1000000, 1:200000 и 1:50000; сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1:500000 и мельче, комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр Российской Федерации и ее регионов; комплексная оценка перспектив изученных территорий с выделением рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 ; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения
Этап II. Поиски и оценка месторождений			
<i>Стадия 2.</i> Поисковые работы	Бассейны, рудные районы, узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_3 и P_2 .	Геологическое изучение территории поисков; выявление проявлений полезных ископаемых; определение целесообразности их дальнейшего изучения	Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследованных площадей, выявленные проявления 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

<p>Стадия 3. Оценочные работы</p>	<p>Проявления полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P₂ и P₁</p>	<p>Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; отбраковка проявлений, не представляющих промышленной ценности</p>	<p>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>Месторождения полезного ископаемого с оцененными запасами по категориям C₂ и C₁ и прогнозными ресурсами категории P₁</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 (фланга, глубокие горизонты) с переводом запасов из низших в более высокие категории</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>Стадия 5. Эксплуатационная разведка</p>	<p>Эксплуатационные этажи, горизонты, блоки, уступы, подготавливаемые для очистных работ</p>	<p>Уточнение полученных при разведке данных для оперативного планирования добычи, контроль за полнотой и качеством отработки запасов</p>	<p>Запасы подготовленных и готовых к выемке блоков; исходные материалы для оценки полноты отработки месторождения, уточнение потерь и разубоживания полезного ископаемого</p>

В зависимости от целей процесс геологического изучения недр подразделяется на три этапа и пять стадий:

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения:

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.

Этап II. Поиски и оценка месторождений:

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3. Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождений:

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

Стадийность геологоразведочных работ предусматривает возможность оптимизации содержания и технологического режима геологоразведочных работ, унификации работ и постадийно создаваемых конечных результатов; оперативного учета и анализа геологической изученности для выбора обоснованных направлений поисковых, оценочных и разведочных работ.

Часть 1

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РУДОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Дается краткое разъяснение принципов и методов прогноза месторождений твердых полезных ископаемых. Рассматриваются методы регионального и локального прогноза промышленных рудных районов, рудных узлов, рудных полей и месторождений. Приведены научно обоснованные критерии прогнозной оценки территорий на полезные ископаемые с целью выделения первоочередных локальных площадей, перспективных на поиски полезных ископаемых. Показаны возможности различных методов и приемов при прогнозной оценке рудоносных территорий и локальных участков, а также приемы их рационального комплексирования. Приведены современные требования к категориям прогнозных ресурсов P_3 , P_2 , P_1 , как конечных продуктов разномасштабных геологических исследований, и методика их геолого-экономической оценки.

1.1. Общие положения: принципы и задачи геологического прогнозирования

Стратегия поисков новых месторождений полезных ископаемых строится на целенаправленном и эффективном выборе объектов для дальнейших геологических исследований. Точный и надежный геологический прогноз резко повышает результативность поисков. Отсюда важнейшим направлением становится совершенствование методов прогноза рудоносных площадей и месторождений. Прогнозирование рудоносных территорий и рудных объектов осуществляется на всех этапах и стадиях общего геологоразведочного процесса. Прогноз размещения рудных полей, месторождений, их внутреннего строения, масштаба и практического значения, содержащихся в них ресурсов полезных ископаемых представляет собой важнейшую конечную цель геологического изучения недр. Фактический материал, получаемый после завершения каждой стадии геологоразведочных работ, расширяет и углубляет представление об исследуемом рудном объекте, позволяет опровергнуть или подтвердить сделанные ранее выводы, более точно интерпретировать наблюдаемую геологическую ситуацию как благоприятную или неблагоприятную для локализации промышленного оруденения. Критериями перспективности рудных объектов служат прогнозные ресурсы полезных ископаемых категорий P_1 , P_2 , P_3 . По результатам геологического прогноза принимаются решения о целесообразности проведения дальнейших более детальных геологосъемочных, поисковых, оценочных и разведочных работ на выделенных перспективных участках, основанные на геологоэкономической оценке ожидаемых ресурсов полезных ископаемых.

Геологический прогноз опирается на известные и новые эволюционные закономерности геологического строения земной коры и мантии – на структурно-тектонические, петрологические, формационные, геофизические, геохимические, металлогенические и прочие закономерности образования месторождений. Точ-

ность и надежность прогноза во многом зависят от качества геологической информации, которая привлекается для построения прогнозных заключений. Конечным результатом абстрагирования реальной геологической системы и рудных объектов становится их упрощенные модели – геолого-генетические, структурно-тектонические, геолого-формационные, геофизические, геохимические, физико-химические, изотопно-геохимические, статистические и другие. Эти модели с помощью определенных процедур позволяют получить новую прогнозную информацию о поведении рассматриваемой системы. Если рудное поле, месторождение рассматривать как геологическую систему, то элементами его структуры можно считать типы пород и руд, связи между элементами – все процессы породо- и рудообразования, а состояние системы – совокупность количественных параметров, характеризующих ресурсы месторождений, его размеры, условия залегания и т.п. [Харченков, 1987]. Важнейшими прогнозными показателями являются масштабы и качество ресурсов полезных ископаемых, объемы или линейные параметры месторождений, рудных тел, особенности их состава, строения и т.п. А.Г. Харченков отмечает такие особенности прогноза минерально-сырьевых ресурсов:

- 1) использование геологических прогнозов как основы экономических прогнозов развития и освоения минерально-сырьевой базы отраслей народного хозяйства;
- 2) существование обратной связи между прогнозом ресурсов полезных ископаемых и прогнозом развития народного хозяйства страны;
- 3) многовариантность способов реализации прогнозных ресурсов в разведанные запасы и необходимость выбора оптимальных путей удовлетворения потребностей народного хозяйства в минеральном сырье;
- 4) обоснованность геологического прогноза минеральных ресурсов и экономических прогнозов развития минерально-сырьевой базы страны или отдельного региона на допущении о закономерной эволюции геологических процессов и возможностей выявления и использования этих закономерностей;
- 5) прямая зависимость точности и надежности прогнозов от качества исходной информации и совершенства научно-методических основ прогнозирования.

С точки зрения применимости методов анализа и прогноза геологических систем используются такие подходы: 1) изучение материальных тел; 2) рассмотрение абстрактных моделей поведения элементов; 3) исследование источников и каналов информации.

1.2. Объекты прогнозирования при геологосъемочных и поисковых работах

Основными объектами изучения и прогнозирования в процессе геологосъемочных и поисковых работ являются рудоносные территории и участки – минерагенические провинции и зоны, рудные районы, рудные узлы, рудные поля и месторождения полезных ископаемых.

Прогноз рудоносности территорий, локальных участков осуществляется на основе выявления закономерностей пространственного размещения месторождений полезных ископаемых в структурно-формационных зонах, минерагенических поясах, в рудных районах, рудных узлах, рудных полях. Применительно к геологоразведочной практике (этапное и стадийное выполнение геологоразведочных работ) прогнозирование заключается в обосновании наибольшей вероятности простран-

ственной локализации рудных объектов на площадях различных стадий геологоразведочных работ. Отсюда геологическое прогнозирование разделяется на региональное, мелко-, средне-, крупномасштабное и локальное. Целью такого прогноза любого масштаба является выделение и количественная оценка рудоносности перспективных площадей, структур, участков в рангах минерагенической провинции и зоны, рудного района, рудного узла, рудного поля, месторождения, рудной залежи. Тогда задачами прогнозно-минерагенических исследований будут: 1) сбор, обобщение и систематизация имеющейся геологической информации в масштабе планируемых работ; 2) анализ полученных данных с выявлением основных геологических предпосылок объекта прогнозирования (минерагеническая провинция – рудная залежь) и его реальные модели; 3) синтез данных и общая оценка перспектив изучаемой площади с выделением потенциально рудоносных участков и структур, соответствующих масштабу и типу модели прогноза; 4) количественная оценка прогнозных ресурсов рудоносных объемов недр (потенциальная минерагеническая провинция – рудная залежь) и их геолого-экономической значимости в условиях конкретного региона; 5) определение рациональных путей, комплекса методов и объемов геологоразведочных работ для реализации прогноза.

По условиям проведения прогнозно-минерагенических исследований большое значение приобретает типизация территорий. Эта типизация позволяет наметить рациональный комплекс методов прогноза и составить представление о возможной промышленно значимой минерализации на изучаемой площади. На условия проведения прогнозных работ влияют ландшафтно-геохимические, географо-экономические особенности, геолого-тектоническая обстановка и зональное размещение месторождений. Различают три типа регионов, имеющих специфику использования различных методов прогнозно-минерагенических исследований [Инструкция..., 1983]:

- 1) горно-складчатые с покровом рыхлых отложений – проявлены хорошо вторичные ореолы и потоки рассеяния рудных элементов;
- 2) регионы преимущественного развития мощных осадочных толщ, с глубоко залегающим кристаллическим фундаментом – вторичные ореолы и потоки рассеяния минералов, элементов не проявлены;
- 3) закрытые складчатые регионы аккумулятивно-денудационных равнин с чехлом аллохтонных отложений до 500 м мощности – вторичные ореолы и потоки рассеяния минералов и элементов залегают в чехле.

Из географо-экономических условий проведения прогнозно-минерагенических исследований важную роль играет промышленная освоенность района. Она определяет глубинность работ, объем предыдущей информации, детальность изучения объектов, обоснованность прогнозов. Рекомендуется выделять такие территории: освоенные и изученные потенциально перспективные, неосвоенные и неизученные, в пределах которых не установлено промышленных месторождений, но потенциально перспективные.

Важнейшими геолого-тектоническими условиями проведения прогнозно-минерагенических исследований является ярусность строения территории и геолого-тектонические обстановки в её пределах. От ярусности района зависят комплекс работ и глубинность применяемых методов исследований. Каждый ярус обычно характеризуется своей степенью литификации и дислоцированности пород. Различают одноярусные, двухярусные, многоярусные регионы: четвертичный комплекс рых-

лых отложений + покровный осадочный комплекс + покровный вулканический комплекс + складчатый кристаллический комплекс.

1.3. Геологические предпосылки прогнозирования формационных и геолого-промышленных типов месторождений

Прогнозные работы проводятся в различных геотектонических обстановках на щитах, платформах, складчатых поясах, срединных массивах, зонах тектономагматической активизации. В этих основных структурах земной коры находятся неодинаковые полезные ископаемые разных формационных и геолого-промышленных типов. Это приводит к разным подходам к региональным и локальным прогнозным исследованиям разномасштабных рудоносных площадей и рудных объектов. Минерагенический анализ любого региона начинается с уточнения условий размещения прогнозируемого оруденения и определения его формационной или геолого-промышленной принадлежности. Затем изучаются закономерности размещения рудопроявлений, месторождений в тех или иных структурах региона. Выделяются рудоподводящие, рудораспределяющие, рудовмещающие, рудолокализирующие структуры и оценивается значимость их для целей прогнозирования. Выявляются взаимосвязи месторождений с геологическими формациями, определяется роль конкретных формаций в рудогенезе и дается их типизация. Геологические формации также разделяются на рудоносные, рудовмещающие, рудогенерирующие, рудообразующие. Рудогенерирующие и рудообразующие формации инициируют процессы рудообразующих систем и рудонакопления во вмещающих породах, выступают в качестве источника энергии, массы и транспортирующих компонентов руд в форме расплавов и растворов. При региональном минерагеническом прогнозировании обстановки нахождения месторождений учитываются через принадлежности рудных формаций к определенным геотектоническим и геодинамическим режимам и структурам.

Щиты и платформы. В породах кристаллического фундамента таких архей-протерозойских структур распространены уникальные месторождения метаморфогенных руд железа, марганца, золото-ураноносных кварцитов и конгломератов, редкометалльных пегматитов, медноколчеданных руд. К ним относятся железистые кварциты Курской Магнитной Аномалии, месторождения Кривого Рога, Верхнего Озера США, Итабира в Бразилии, Бихар в Индии и др.; золото-ураноносные конгломераты Витватерсранда ЮАР, Блейнд Ривер в Канаде, Жакобина в Бразилии и др.; медноколчеданные Болиден в Швеции, Фин-Флон и Норанда в Канаде и др.; редкометалльные (Be, Li, Ta, Nb, Zr, Sn, U, Th) пегматиты Бразилии, Канады, Африки, Индии, Австралии; грейзеновые месторождения кварц-касситеритовых, кварц-вольфрамит-молибденитовых руд всех континентов и др. Среди пород чехла платформ размещены крупнейшие месторождения стратиформных руд меди в протерозойских песчаниках и сланцах – Удоканское и др.; свинцово-цинковые в карбонатных толщах протерозоя-карбона США, России; колчеданные медные и полиметаллические среди вулканитов протерозоя Балтийского щита, Канады, Австралии; медно-никелевые (с Pt, Pd) ликвационные в базитах-гипербазитах протерозоя – Садбери, Бушвелд; месторождения бокситов и сульфидных медно-никелевых руд (с Pt, Pd) Норильского района; редкометалльные карбонатиты, алмазоносные кимберлиты, лампроиты Сибири, Африки, Австралии.

Складчатые пояса, как зоны высокой тектонической подвижности, содержат крупные минерагенические провинции, пояса, рудные районы, рудные узлы. Для фемических зон фанерозоя свойственны карбонатные, сланцево-карбонатные формации с уникальными медноколчеданными, хромитовыми, титаномагнетит-ильменитовыми, скарново-железородными (с Au-Pt) месторождениями уральского и рудноалтайского типа. Сиалические зоны фанерозоя несут крупные месторождения Sn, W, Au, RE гидротермального типа, связанные с формациями гранитоидов.

Срединные массивы – структуры, в которых совмещены месторождения полезных ископаемых платформ, складчатых поясов и областей тектономагматической активизации (ТМА). С докембрийскими кристаллическими породами фундамента связаны осадочно-метаморфические месторождения железа, марганца, графита Кокчетавского, Чешского массивов; слюдоносные и редкометалльные пегматиты Памира, Байкала; месторождения драгоценных и поделочных камней тех же регионов. Выявлены свинцово-цинковые, золотые, медно-никелевые объекты в Кокчетавской глыбе, хромиты в Родопском и Иранском массивах.

Зоны тектономагматической активизации, проявленные на платформах, складчатых поясах, несут редкометалльно-грейзеновые, редкометалльно-карбонатитовые, редкометалльно-альбититовые, гидротермальные месторождения Sn, W, Mo, Au, Pb, Zn, а также эпитепральные объекты флюорита, барита, свинца и цинка, золото-серебряных, сурьмяных, марганцевых, урановых руд. Характерной особенностью минерагении этих зон является многокомпонентный состав руд, поясовое размещение разнотипного оруденения в сутурах и разломах. Типичным примером служит выделенный С.С. Смирновым золото-молибденовый пояс Забайкалья.

1.4. Региональное минерагеническое прогнозирование

1.4.1. Общие положения: принципы и методы исследований

Прогнозно-минерагенические (металлогенические) региональные исследования выполняются в масштабах 1:1000000, 1:500000 и 1:200000. При региональном комплексном геологическом прогнозировании поисковыми объектами являются минерагенические провинции и зоны, рудные районы, рудные узлы. Основными задачами таких региональных работ являются:

1) выявление рудоконтролирующих структур первого порядка и связанных с ними рудоносных осадочных, магматических, метаморфических, метасоматических и иных комплексов и формаций;

2) определение локальных рудоносных геологических структур (складчатоблоковых, разрывных, дайковых поясов и штоков магматитов, вулканоплутонических центров, зон метасоматитов, тектономагматической активизации), их соотношений между собой и с разновозрастными уровнями эрозионного среза отдельных блоков изучаемой территории;

3) выяснение природы геологических, геофизических, геохимических, минералогических аномалий, выявленных в изучаемом регионе.

Решение первой задачи способствует выявлению перспективных рудоносных площадей – минерагенических зон, рудных узлов, рудных районов, а второй и третьей – выявлению точек минерализации и рудопроявлений.

Региональное прогнозирование опирается не только на изучение вскрываемых формаций и комплексов с помощью анализа геологических карт масштабов

1:1000000...1:200000 (1:100000), но и учитывает данные о глубинном строении земной коры. При выделении рудоперспективных структурно-формационных зон используются такие исследования:

- 1) сопоставление выявляемых зон между собой; определение их эволюционного развития по основным этапам рудообразования;
- 2) изучение последовательности структурно-тектонических, магматических, метаморфических, метасоматических этапов;
- 3) минерагенический анализ изучаемых территорий;
- 4) выявление рудопроводящих, рудоконтролирующих, рудоконцентрирующих структур.

Региональное прогнозирование на первом этапе служит для проектирования геолого-геофизических исследований территорий. В результате получают прогнозные ресурсы категории P_3 . Эти прогнозные ресурсы оцениваются при геологосъемочных и геофизических работах масштабов 1:1000000...1:200000. Их количественная оценка выполняется без привязок к конкретным объектам [Классификация запасов..., 2006]. Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений полезных ископаемых того или иного вида на основании благоприятных геологических и палеогеографических предпосылок, выявляемых при аэрокосмических и наземных геолого-геофизических и геологосъемочных исследованиях.

При отраслевом минерагеническом анализе и прогнозировании в основу положена структура баланса данного вида минерального сырья. Намечаются типы месторождений, отвечающих требованиям промышленности к масштабам и качеству сырья. Затем выполняется специальный анализ территории страны, отдельных регионов с целью выявления мест наиболее вероятного их обнаружения. Изучаются типы месторождений, выделяются рудные и рудоносные формации, анализируются закономерности их размещения, устанавливаются факторы, контролирующие оруденение. На этой основе формируется банк критериев перспективной оценки территорий применительно к различным формационным или геолого-промышленным типам. Региональные комплексные и отраслевые прогнозно-металлогенические исследования дополняют друг друга.

Методика анализа геологических данных при комплексном и отраслевом прогнозировании различается. Комплексный многоступенчатый прогнозный анализ территорий с последовательной детализацией перспективных площадей включает обзорное прогнозирование, мелко-, среднемасштабное (1:1000000...1:200000) и выборочное крупномасштабное (1:50000) прогнозирование. Особенностью методики такого прогнозирования является последовательное вовлечение в анализ все более крупномасштабных геологических карт; использование критериев прогноза от региональных геологоструктурных, формационных к более детальным минералогическим и геохимическим. В одних случаях такой многоступенчатый анализ заканчивается выделением и оценкой масштабов прогнозируемого оруденения в пределах минерагенических поясов и провинций, зон, областей. В других случаях он заканчивается на уровне рудных зон, узлов, рудных районов.

При отраслевом геологическом прогнозировании главным является выделение возможных конкретных типов месторождений. Затем для каждого намеченного формационного типа и для родственной группы типов месторождений, сходных по геологическим условиям локализации, производится разбраковка изучаемой территории по перспективности. В итоге устанавливаются перспективные площади с оценкой прогнозных ресурсов по категории P_3 .

Но всегда должна соблюдаться соподчиненность от мелкомасштабных региональных к крупномасштабным и детальным исследованиям: минерагеническая провинция – минерагеническая область – минерагенический район или минерагенический пояс – структурно-формационная (минерагеническая) зона – рудный узел – рудное поле.

1.5. Методы региональных прогнозно-минерагенических работ

При региональных прогнозных исследованиях используются следующие геолого-геофизические дистанционные и наземные методы: аэрокосмосъемочные, геофизические, геохимические, минералого-петрографические, геологического картирования, комплексный минерагенический анализ материалов.

Аэрокосмические методы включают аэрофотосъемку, космическую радиолокационную, инфракрасную, спектро-многозональную, магнитную, гравиметрическую, радиометрическую съемки. Масштабы работ и комплекс методов определяются особенностями исследуемой территории. Последовательная детализация данных дает максимальный результат при применении материалов с четырехкратным различием в масштабах.

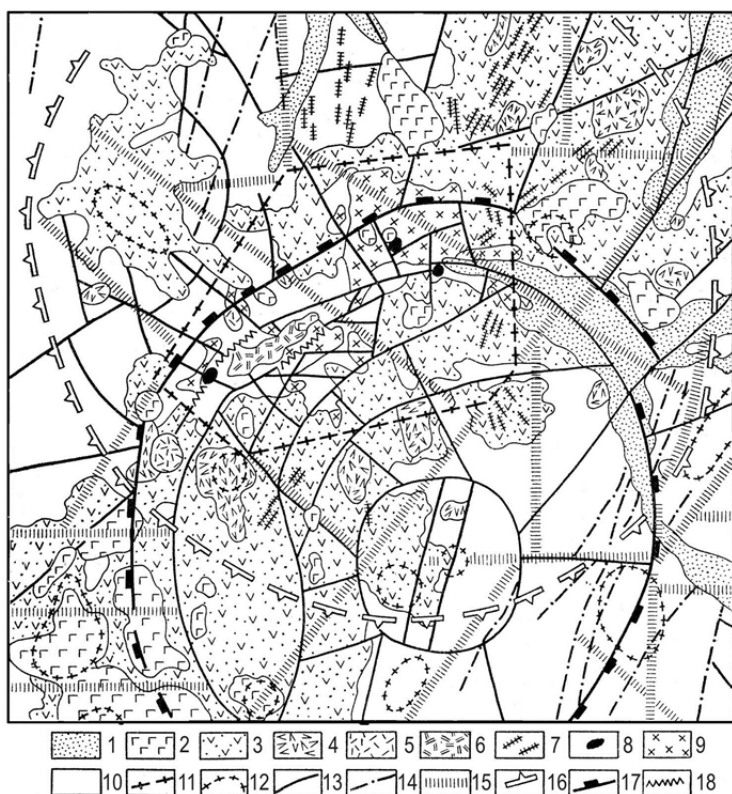


Рис. 1. Тектоническая схема Быстринской очаговой структуры (бассейн реки Быстрой, хр. Кумроч, Восточная Камчатка)

(составил В. А. Селиверстов с использованием данных съемок ПГО «Камчатгеология»).

1-9 – верхний структурный ярус: 1 – рыхлые четвертичные отложения, 2 – верхнечетвертичные ареальные андезитобазальтовые вулканы, 3 – плиоценовые андезиты и дациты тумрокской свиты, 4-6 – экструзии (4 – андезитов, 5 – дацитов, 6 – риолитов), 7 – крупнейшие скопления даек андезитов и порфировидных диоритов, 8 – тела взрывных брекчий, 9 – плиоценовые габбро, диориты и кварцевые диориты Быстринского массива; 10 – нижний структурный ярус – дислоцированные мелпалеогеновые вулканические, вул-

каногенно-осадочные и терригенные отложения; границы интенсивных положительных магнитных аномалий, маркирующие: 11 – эндоконтакты Быстринского массива, 12 – нескрытые субвулканические тела; 13-15 – тектонические нарушения: 13 – сбросы и взбросы верхнего структурного яруса, 14 – сбросы и надвиги нижнего структурного яруса, 15 – важнейшие расколы фундамента; границы очаговых структур 16 – вулканоплутонической Быстринской, 17 – тектоногенной Водопадной; 18 – некоторые минерализованные зоны

В результате выявляются следующие рудоконтролирующие структуры:

- 1) сводово-глыбовые поднятия, возникшие в процессе активизации, глубинного палеодиапиризма, магматизма, метасоматизма, определивших минерагеническую зональность концентрического типа (рис. 1);
- 2) линейные сквозные зоны, секущие общий структурный план территории, среди которых выделяются рудоконтролирующие структуры (рис. 2);
- 3) очагово-купольные структуры магматической природы, обладающие радиально-концентрическим строением и контролирующими размещение рудных узлов, рудных полей (рис. 3).

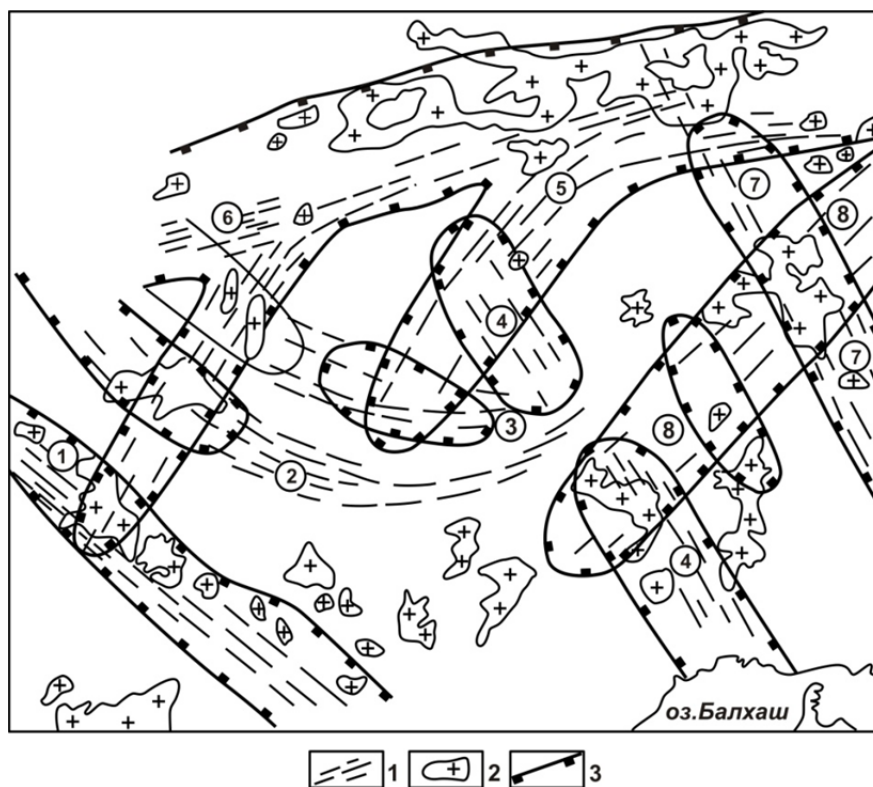


Рис. 2. Схема размещения редкометалльных структурно-металлогенических зон и региональных рудоконцентрических структур центрального Казахстана
(составлена Н.В.Скубловой и др. по данным дешифрирования аэрокосмоснимков и интерпретации геофизических материалов).

1 – зоны разломов; 2 – позднегерцинские гранитоиды; 3 – редкометалльные зоны: Шалгия–Караобинская (1), Акбастауская (2), Акжал–Джамчинская (3), Кентерлау–Джамчинская, Уралбайская (5), Успенская (6), Актасская (7), Жанет–Кызылрайская (8).

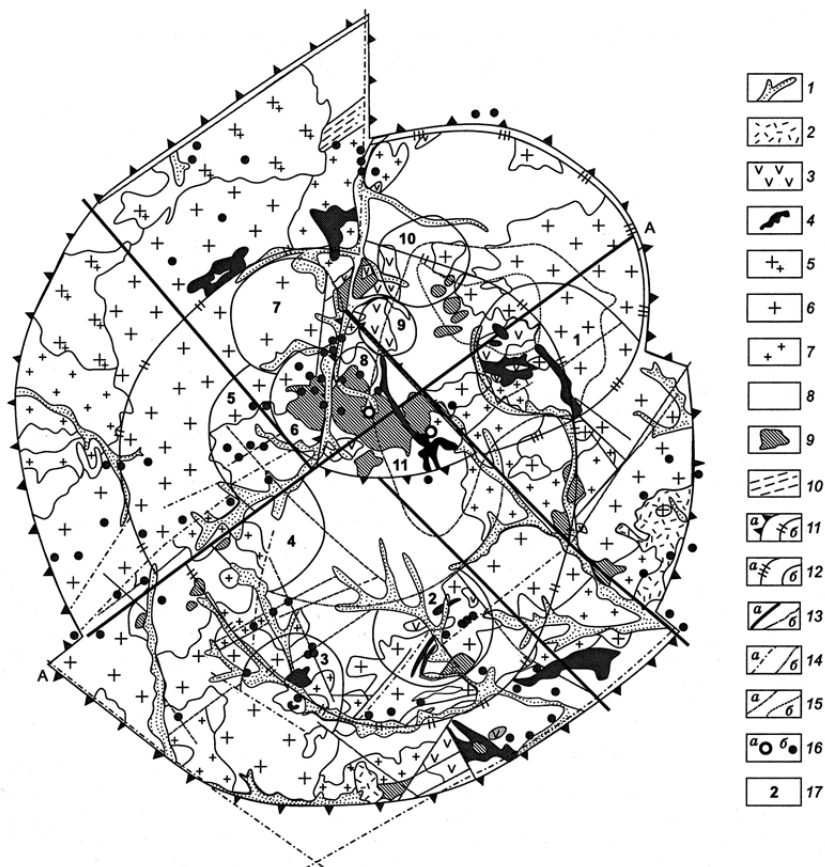


Рис. 3. Схема строения Дарасунской очагово-купольной структуры [Зорина и др., 1989]: 1 – четвертичные отложения; 2 – покровы вулканитов (J_3 — K_1); 3 – вулканогенные породы амуджиканского комплекса (J_{2-3}); 4 – породы субвулканических малых интрузий гранодиорит- и гранит-порфиров амуджиканского комплекса (J_{2-3}); 5 – щелочные и субщелочные граниты нерчуганского комплекса (T - J_1); 6 – порфировидные гранодиориты и граниты амананского комплекса (T); 7 – аллохтонные гранитоиды: олекминский комплекс лейкократовых гранитов и сиенитов (PZ_3 - MZ_1); 8 – автохтонные гранитоиды: крестовский комплекс пород гранодиоритовой интрузии (PZ_2); 9 – кручининский комплекс метаморфизованных габброидных и ультраосновных пород (PZ_1); 10 – комплекс кристаллических сланцев (PR_2 - PZ_1); 11, 12 – кольцевые (очаговые) структуры центрального типа: 11a – первого порядка, 11b – второго порядка, 12a – третьего порядка, 12b – четвертого-пятого порядков; 13 – зоны линейных разломов: a – мантийного, b – внутрикорового заложения; 14 – линейные (a) и кольцевые (b) разрывные нарушения; 15 – контуры гравитационной аномалии [по В.Д. Любалину, 1977]: a – максимума силы тяжести, b – экстремума; 16 – месторождения (a) и рудопроявления (b); 17 – номера морфоструктур четвертого-пятого порядков: 1 – Дарасунская, 2 – Торгоконская, 3 – Липакинская, 4 – Берковская, 5 – Боровушкинская, 6 – Талатуйская, 7 – Земкекенская, 8 – Жарчинская, 9 – Кулиндинская, 10 – Береинская, 11 – Вершино-Дарасунская

При оценке перспективности территорий основное значение имеют геометрические формы изображения объектов – кольцевые и линейные структуры, отражающие неоднородности глубинного строения земной коры при воздействии мантийных магмо-флюидных потоков.

Методическими приемами анализа дистанционных данных являются:

- 1) последовательная детализация аэрокосмических материалов, начиная с мелко-масштабных;

- 2) использование комплекта аэрокосмических материалов разных видов, близких или одинаковых масштабов, а также фотосъемок одного вида, но различных по сезонным условиям съемки;
- 3) комплексная интерпретация аэрокосмических геофизических, геохимических и других материалов глубинных исследований (рис. 4).

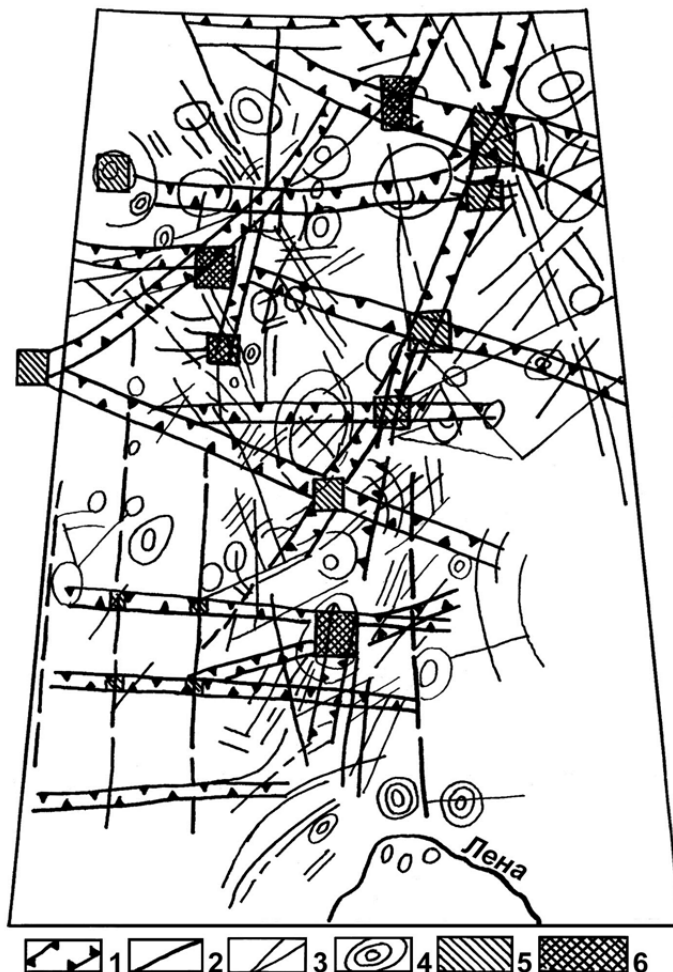


Рис. 4. Региональная космоструктурная схема Западной Якутии, созданная на основе дешифрирования среднемасштабных космофотоснимков

(по А.Е.Тюленеву и др.):

1 – сквозные линеаментные зоны; 2 – отдельные протяженные разломы; 3 – отдельные мелкие разломы; 4 – кольцевые структуры; 5 – очаги щелочно-ультраосновного магматизма; 6 – участки, перспективные на выявление эксплозивного магматизма и оруденения

Материалы дистанционных работ используются для решения таких прогнозно-минерагенических задач [Прогнозно-металлогенические..., 1985]:

- 1) выявление и анализ закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых;
- 2) определение минерагенических факторов локализации оруденения;

- 3) минерагеническое (металлогеническое) районирование;
- 4) разработка критериев прогноза;
- 5) выделение и оценка рудоперспективных площадей и объектов;
- 6) определение ландшафтно-геохимических особенностей и типов геолого-тектонических обстановок для целей прогнозирования;
- 7) выявление продолжений известных рудоконтролирующих и рудолокализирующих структур;
- 8) анализ минерагенического значения выявленных линейных, кольцевых, блоковых структур;
- 9) выявление узлов пересечения известных рудоконтролирующих структур с вновь установленными геологическими линеаменами по аэро- или космофотоснимкам;
- 10) изучение изображений на аэрокосмофотоснимках рудных узлов, рудных полей, месторождений и поиски аналогов на соседних площадях, отвечающих условиям типизации по специфическим признакам проявлений объектов;
- 11) выявление и уточнение структурной позиции рудопроявлений, месторождений в исследуемом регионе;
- 12) установление возможных дайковых тел, цепочек штоков, кварцевых жил, зон метасоматитов на продолжениях разломов, их ответвлений, зон контактовых метасоматитов, стратифицированных рудных объектов, узлов пересечения кольцевых и линейных структур, очаговых вулканотектонических объектов и т.п. (рис. 1–5).

Для выявления геологической природы изображения того или иного объекта необходимо уточнить отражение их в геофизических и геохимических полях. В процессе интерпретации фотогеометрических данных привлекается фациальный, морфоструктурный анализ материалов. Все это способствует расшифровке скрытых глубинных рудоконтролирующих структур на изучаемой территории. Нередко в процессе анализа аэрокосмических материалов выявляются новые объекты, которые не находили отражения в геологическом строении верхнего структурного этажа, то есть скрытые глубинные структуры.

Геофизические методы. Подразделяются на опережающие и сопровождающие. В группу опережающих методов относятся аэромагнитная, аэрогаммаспектрометрическая съемки масштабов 1:500000...1:25000; высокочастотная гравиметрическая, магнитные съемки, электроразведка тех же масштабов, сейсмические работы в профильном и площадном вариантах; гамма-тепловая съемка. На перспективных площадях выборочно выполняются и наземные электроразведочные работы: картировочные ВЭЗ, ДЭП, СЭП, поисковые ЕП, ВП, МПП; на закрытых территориях – крупномасштабная (1:50000–1:25000) гравиразведка, профильная сейсморазведка и площадная сейсморазведка.

Региональные геофизические исследования масштабов 1:500000, 1:200000 включают спутниковую магнитную, гравитационную, электромагнитную съемки. Среднемасштабные аэрогеофизические съемки включают магнито-, электро-, гамма-, тепловые, а также наземные гравиметрические, структурно-электроразведочные методы ВЭЗ, ДЭЗ, ЗСП, региональную сейсморазведку КМПВ, МОВ, каротажные работы. Для изучения глубинного строения территорий используются методы ГСЗ, ВЭЗ–МОВ в профильном и площадном вариантах, а также методы сейсмической томографии.

При прогнозных исследованиях геофизические материалы способствуют решению следующих задач:

- 1) выделению рудоконтролирующих особенностей рудных объектов в геофизических полях;
- 2) выявлению и оценке локальных аномалий, связанных с рудными узлами, рудными полями, месторождениями;
- 3) определению рудоконтролирующих элементов геологического строения изучаемых территорий;
- 4) изучению глубинного строения территорий [Прогнозно-металлогенические..., 1985].

Результаты геофизических исследований отображаются на структурно-геологических схемах, схемах глубинного строения территорий, картах закономерностей размещения полезных ископаемых (рис. 5–7).



Рис. 5. Выделение региональной рудоконтролирующей структуры геофизическими методами: а – карта локальных аномалий силы тяжести вариаций, $R=5$ км), б – схема геологического строения с элементами металлогении в восточной части Восточно-Уральского поднятия (по А.М. Виноградову и др.).

1 – осадочные породы, 2 – туфы и лавы преимущественно кислого состава, 3 – дацитовые порфиры, 4 – туфы и туффиты смешанного состава, 5 – дацитовые порфиры, 6 – граниты, 7 – гранодиориты, 8 – габбро, 9 – горизонтальная проекция контура гранитоидного интрузива на глубине, 10 – разрывы, 11 – зона рудоконтролирующего разлома, 12 – месторождение меди, 13 – изоаномалы гравитационного поля

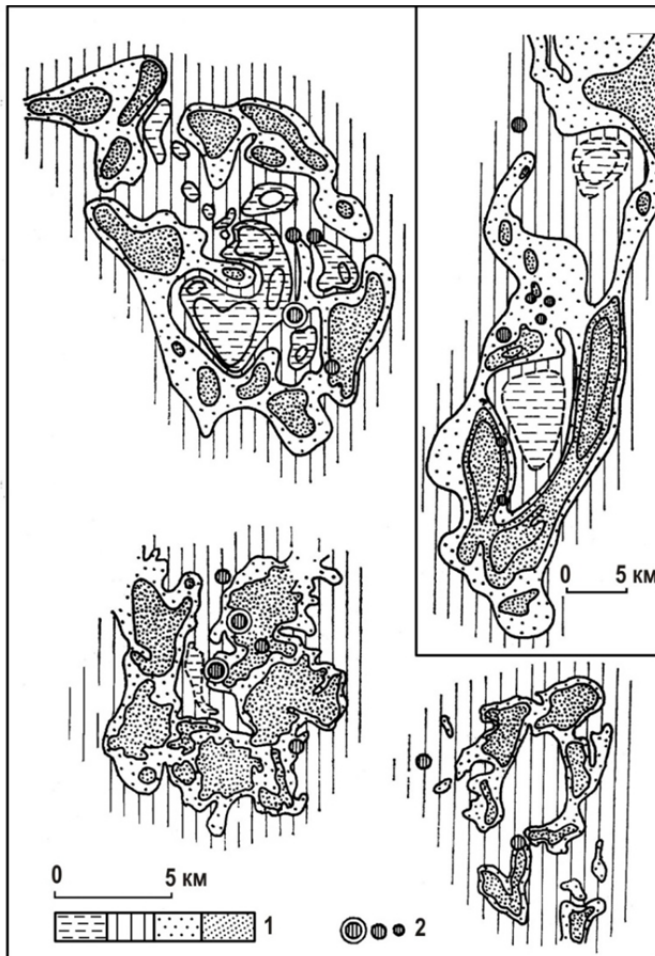


Рис. 6. Схема отражения вулканотектонических структур, контролирующих медно-колчеданное оруденение в поле локальных гравитационных аномалий (по В.И. Бергеру и др.):

1 – интенсивность гравитационного поля;
2 – медно-колчеданные месторождения и рудопроявления

При изучении закрытых и полузакрытых территорий выявляемые физические поля позволяют интерпретировать обусловившие их скрытые геологические тела и структуры, в том числе рудоконтролирующие, под покровами эффузивов и рыхлыми отложениями. При проведении глубинного геологического картирования используются способы разделения физических полей, создаваемых геологическими телами на разных глубинах. Тогда задача объемного картирования территории решается без привлечения больших объемов буровых работ. Для изучения мощности рыхлого покрова используется ВЭЗ, иногда в комплексе с модификациями электропрофилирования. Зоны гидротермального метасоматоза с продуктивной рудной минерализацией выявляются методами ВП и ЕП. При изучении рудоконтролирующих разрывов используют МЭДК и ВМП. Сейсмические методы КМПВ, МОВ, МОГТ, МРНП, МПВ, ГСЗ, ВСП, МОГ используются для изучения внутренней структуры осадочно-эффузивных толщ, интрузивов. Аэрогаммаспектрометрическая, спектрально-зонная съемки позволяют разделять интрузивы по составу, геохимической и металлогенической специализации (по U, Th, Ra, K). Гравиметровая съемка является одним из эффективных способов изучения глубинного строения региона (см. рис. 5, 6). Гамма-спектрометрия, фотонейтронный, нейтронно-активационный и другие ядерно-физические методы нередко используются для прямого прогноза и оценки возможных количеств полезных компонентов на исследуемых территориях.

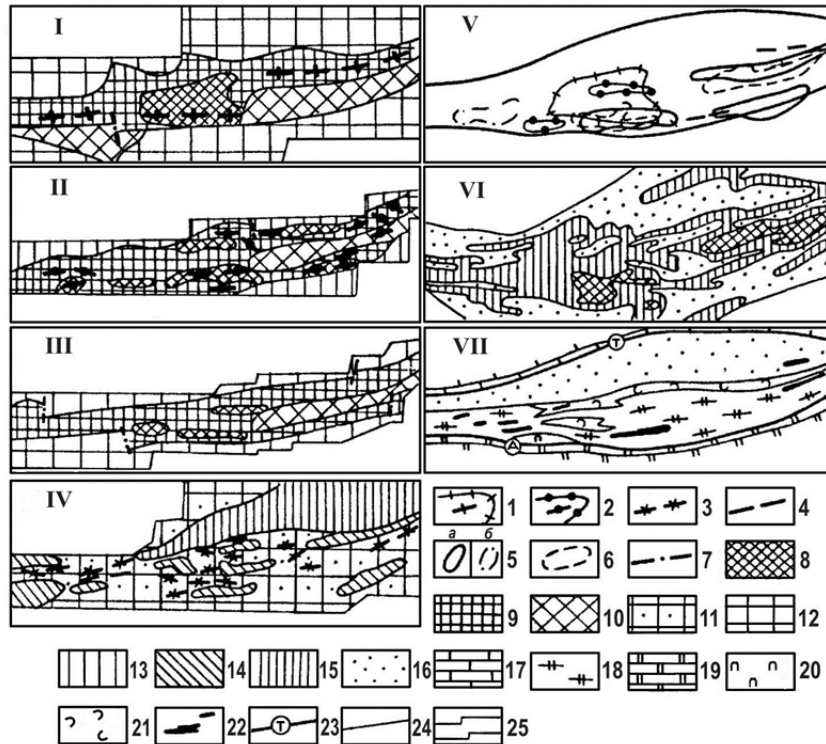


Рис. 7. Отражение рудного поля в геофизических и геохимических полях
(составлена В. Д. Конкиным, А. А. Солодовым, Е. Б. Соловьевым):

I–IV – схематические карты районирования геофизических полей: Δg (I), ΔZ (II), ρ_k (III), ЕП (IV); V – сводная схематическая карта локальных геофизических и геохимических аномалий (Δg , ΔZ , ρ_k , ЕП, $Pb \times Zn \times Cu$); VI – карта геохимических ореолов ($Pb \times Zn \times Cu$); VII – схематическая геологическая карта
1–4 – локальные геофизические аномалии: 1 – Δg , 2 – ΔZ , 3 – ЕП, 4 – ρ_k ; 5–6 – комплексные аномалии: 5 – геофизические а – $\Delta Z + \rho_k + ЕП$, б – $ЕП + \rho_k$; 6 – геохимические – $Pb \times Zn \times Cu$; 7 – линии, ограничивающие площади смещенных и оторванных геохимических ореолов; 8–15 – интенсивность геофизических и геохимических аномалий (Δg мгл; ΔZ мЭ, ρ_k , Ом, ЕП мВ, $Pb \times Zn \times Cu \cdot n \cdot 10^{-8}$): 8 – $\Delta g_{пл} = 4$, $\Delta Z = 1,5–6,0$, $\rho_k = 5–100$, $Pb \times Zn \times Cu = \geq 700$; 9 – $\Delta g_{пл} = 3$, $\Delta Z = 1,0–1,5$, $\rho_k = 100–500$; 10 – $\Delta g_{пл} = 2$, $\Delta Z = 0–1,0$, $\rho_k = 500–5000$; 11 – $ЕП = 0–50$; 12 – $\Delta g_{пл} = 1$, $\rho_k = 10000$; 13 – $\Delta Z = 0–0,5$; 14 – $ЕП = 0–400$; 15 – $Pb \times Zn \times Cu = 80–690$, ЕП от 400 до 500; 16 – кварцито-сланцевая субформация; 17 – известняки терригенно-карбонатной (перекрывающей) формации; 18 – черносланцевая (углеродисто-флишоидная) субформация, включающая пачки: углеродисто-кварц-карбонатно-сланцевую, углеродисто-кварц-сланцевую, углеродисто-карбонат-кварц-сланцевую; 19 – доломитовые мраморы карбонатной (подстилающей) формации; 20 – дайки и силлы перидотитов (а) и габбро-диабазов (б); 21 – метаморфогенно-метасоматические породы; 22 – рудные тела; 23 – Тыйский (Т) и Аквитский (А) разломы; 24 – геологические границы; 25 – контур площади съемок

Геохимические исследования. Прогнозно-минерогенетические исследования включают геохимическое картирование, литохимическую съемку, гидрогеохимические, биогеохимические, атмосферические, изотопно-геохимические методы. В комплексе региональных геологосъемочных работ геохимические съемки могут быть опережающими и сопровождающими. В дальнейшем выполняется детализация выявленных геохимических полей. Задачами геохимических исследований являются:

- 1) выбор метода или комплекса методов и районирование площадей по условиям ведения геохимических работ;
- 2) выбор сети опробования;

- 3) определение элементов-индикаторов рудных объектов;
- 4) выбор метода опробования и способов обработки, анализов геохимических проб;
- 5) обработка геохимических данных и интерпретация получаемых геохимических полей;
- 6) выделение аномальных проб и участков;
- 7) определение уровня эрозионного среза рудоносной площади и масштаба оруденения;
- 8) выделение участков для детальных прогнозно-минерагенических исследований (рис. 7, 8);
- 9) выявление рудоносных зон биохимическими методами (рис. 9).

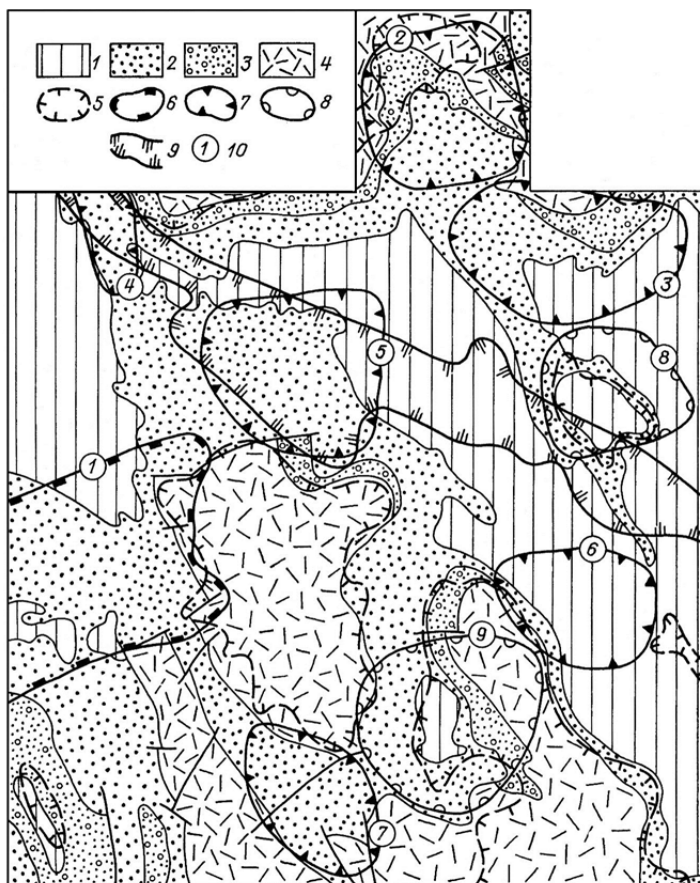


Рис. 8. Пример изучения геохимического поля погребенного рудного района барит-свинцово-цинковой кремнисто-карбонатной формации

(по Л.М.Сахновскому и др., 1988).

1 – углисто-глинисто-кремнисто-карбонатные породы, алевролиты, известняки (C_1t-v); 2 – углисто-кремнисто-глинисто-карбонатные, кремнисто-карбонатные породы, известняки, вмещающие оруденение атасуйского типа (D_3tm); 3 – дайринская свита (D_3dr)—красноцветные песчаники и конгломераты, вулканиты кислого состава; 4 – песчаники, алевролиты, вулканиты кислого и среднего состава (D_{1-2}); 5 – границы обнаженных площадей; 6-9 – контуры аномальных геохимических полей различных типов; 6 – железо-марганцевых рудных объектов (Mn, Pb, Zn, Ag), 7 – барит-полиметаллических рудных объектов – надрудный, верхне- и среднерудный уровни эрозионного среза (Zn, Pb, Ag, Ba, Hg, Mn, Cu), 8 – барит-полиметаллических рудных объектов – нижнерудный уровень эрозионного среза [Ba, Pb, Zn, Hg, (Mn, Cu)]; 9 – границы приразломной зоны аномалий Mn; 10 – номера аномальных полей с установленным (1, 2, 4, 5) и предполагаемым (3, 6, 7) оруденением и неперспективных (сильноэродированных) (8 и 9)

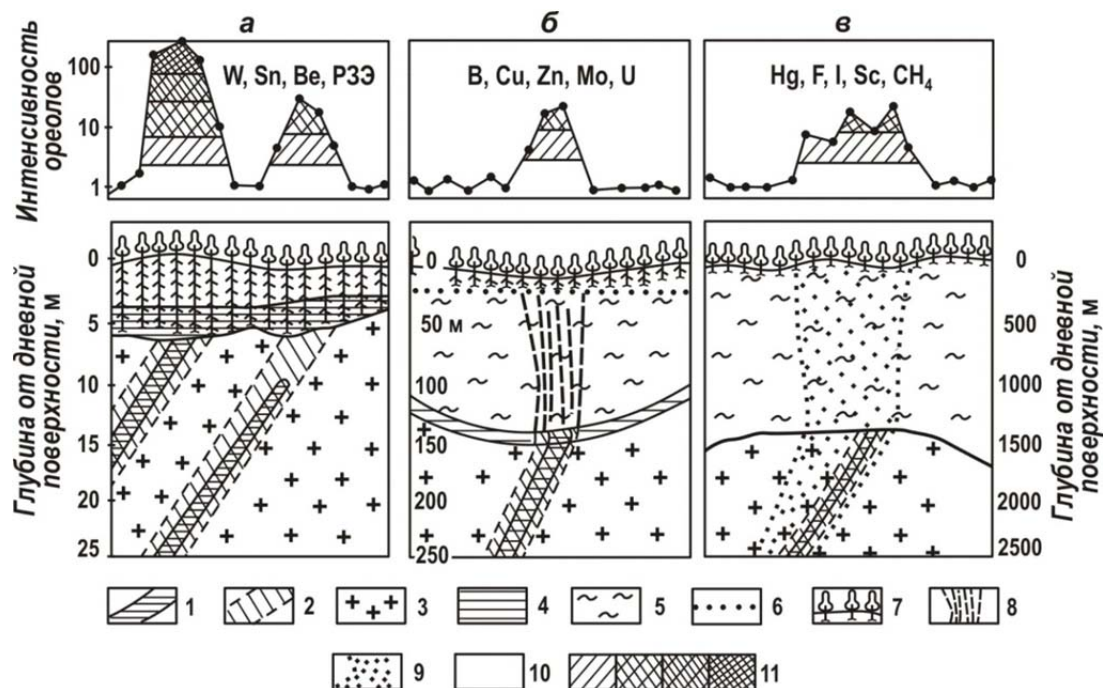


Рис. 9. Схема биогеохимических ореолов над скрытой рудной зоной

a – литобиогеохимические, глубинность от 2–20 до 20–70 м; *б* – гидробиогеохимические, глубинность от 20–200 до 1000 м; *в* – атмосферобиогеохимические, глубинность до 200–2000 м (по А.Л. Ковалевскому):

1 – рудные тела; 2 – их первичные ореолы; 3 – коренные горные породы; 4 – элювий; 5 – аллохтонный покров; 6 – водоносный горизонт; 7 – растения; 8, 9 – рудные гидро- (8) и атмогеохимические (9) ореолы; 10 – фоновые содержания элементов-индикаторов на графиках; 11 – их аномальные концентрации различной интенсивности: *a* – слабые (3–10 фонов), *б* – средние (10–30 фонов), *в* – интенсивные (30–100 фонов), *г* – весьма интенсивные (> 100 фонов)

Региональные прогнозно-минерагенические исследования сопровождаются анализом геохимической ситуации площади работ [Плющев, Шатов, 1985 г.]. Объектами такого анализа, наряду с данными по известным месторождениям, рудопроявлениям, геохимическим аномалиям, оказываются зоны метасоматизма, зоны приноса-выноса элементов, аномалии на геохимических барьерах в ландшафтах. Прогнозные объекты выделяются на основе составляемых прогнозно-геохимических карт (рис. 10, 11). Критериями выделения рудно-формационных зон служат приуроченность геохимических полей к благоприятным геологическим структурам и корреляция рудных объектов с геохимическими полями и аномалиями. Выделение геохимических аномалий и полей уточняет рудоконтролирующие факторы и закономерности размещения полезных ископаемых в регионе. Результаты геохимических съемок масштабов 1:200000...1:50000 служат основой для расшифровки региональной геохимической зональности и для выполнения геохимического районирования территорий. Все это способствует повышению надежности регионального прогнозирования.

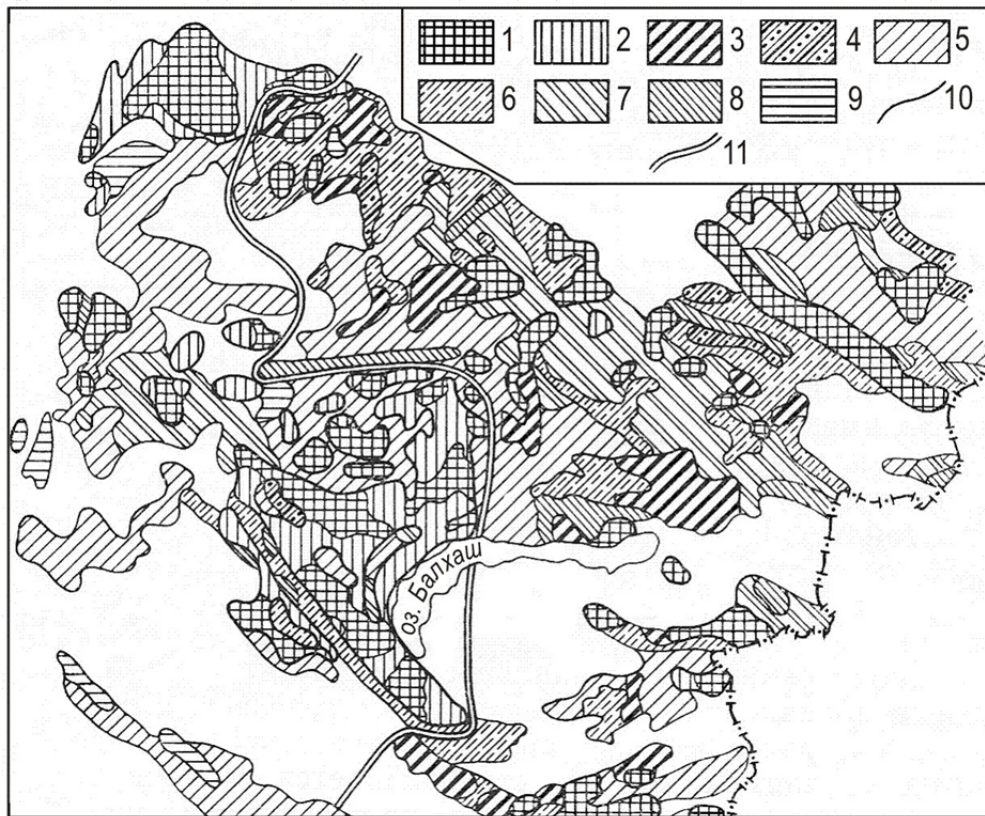


Рис. 10. Схема рудногеохимической зональности Казахстанской складчатой страны
(по К.В.Плющеву, В.В.Шатову, 1985).

Геохимические зоны развития рудных концентраций: 1 – литофильных, 2 – хальколитофильных, 3 – литохалькофильных, 4-6 – халькофильных (4 – сурьмяно-ртутных, 5 – свинцово-цинково-медных, 6 – золото-серебряных), 7 – халькосидерофильных, 8 – сидерофильных, 9 – сидеролитофильных; границы: 10 – существенно литофильных ареалов, 11 – главных геохимических блоков (геоблоков)

В основу методологии геохимических исследований Е.В. Плющев и В.В. Шатов приняли положения системного подхода: уровни организации природного вещества, главные и второстепенные компоненты систем, видовая принадлежность гидротермально-метасоматических образований, концентрированность и распространенность природного вещества, модели происхождения гидротермально-метасоматических образований. Для территории Казахстана авторами выделены четыре типовые системы сопряженных зон регионального метасоматизма: плутоногенную фельдшпатолит-грейзеновую, околоинтрузивную пропилит-березитовую, вулканогенную фельдшпатофир-аргиллизитовую, приразломную пропилит-березитовую. Все они характеризуются спецификой поведения микропримесей элементов. Для каждой зоны вычислялась площадь современного среза S , а в её пределах – участки, занятые исходными породами разного вида: $S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$. Для каждой элементарной ячейки-площадки определялось среднее содержание металла $C_{i0}, C_{ie}, \dots, C_{in}$. В целом для зоны средневзвешанный коэффициент привноса-выноса элемента по всем породам составил $\Delta C = (1/S)(\Delta C_1 S_1 + \Delta C_2 S_2 + \dots + \Delta C_n S_n)$. Для центральных частей зон коэффициент ΔC положительный, а для периферических – от-

рицательный. Тогда площадная продуктивность составила $q = \Delta C \cdot S_{\text{сов}}$, г/т·км², а условное количество перемещаемого металла $Q_{\text{усл.}} = \rho \cdot \Delta C \cdot V_{\text{усл.}}$, где ρ - плотность породы, г/см³; ΔC - средневзвешенный для пород зоны коэффициент привноса-выноса элемента со своим знаком, г/т; $V_{\text{усл.}} = S \cdot l$ - условный объем зоны, км³; $Q_{\text{усл.}}$ - условное количество перемещаемого металла, 10³ т. Выполненные геохимические исследования позволили выявить для Казахской складчатой системы региональную геохимическую зональность и дать обобщенную рудногеохимическую схему (рис. 11).

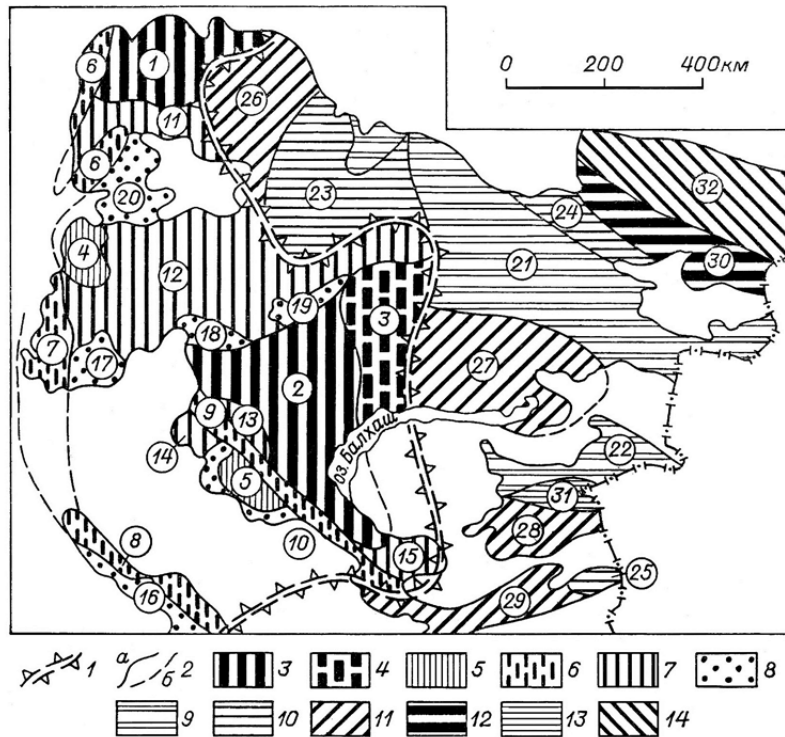


Рис.11 Региональная геохимическая зональность Казахской складчатой страны

(Е.В. Плющев и др.)

1 – граница Западного и Восточного геохимических блоков; 2 – границы геохимических поясов, провинций и районов (а – наблюдаемые, б – предполагаемые под чехлом рыхлых отложений); 3-8 – Западный геоблок: 3 – провинции литофильного типа (1 – Кокчетавская, 2 – Центральноказахстанская), 4 – провинции хальколитофильного типа (3 – Токрауская), 5 – районы слабовыраженного литофильного типа (4 – Арганатинский, 5 – Чуйский), 6 – фрагменты Каратау-Улуту-Джаркайнагачского и Джалаир-Найманского литосидерофильных поясов (6 – Джаркайнагачский, 7 – Улутуауский, 8 – Каратауский, 9 – Северо-Бетпақдалинский, 10 – Чу-Илийский), 7 – провинции и районы слабовыраженного сидеролитофильного типа (11 – Калмыккольская, 12 – Сарысу-Тенизская, 13 – Бурунтауский, 14 – Жебаглинский, 15 – Анархайский), 8 – провинции и районы халькофильного типа (16 – Каратауская, 17 – Джезказганский, 18 – Джаильминский, 19 – Успенский, 20 – Тенизский); 9-14 – Восточный геоблок: 9 – провинции сидерохалькофильного типа (21 – Зайсан-Чингиз-Тарбагатайская, 22 – Северо-Джунгарская), 10 – провинции и районы литосидерохалькофильного типа (23 – Баянаульская, 24 – Западно-Калбинская, 25 – Кетменский), 11 – провинции литохалькофильного типа (26 – Селеты-Степнякская, 27 – Восточно-Прибалхашская, 28 – Южно-Джунгарская, 29 – Кендыктас-Зайлийская), 12 – провинции литофильного типа (30 – Калба-Нарымская), 13 – районы слабовыраженного литофильного типа (31 – Центральноджунгарский), 14 – провинции халькофильного типа со слабовыраженной литофильностью (32 – Рудно-Алтайская)

Определение аномальных геохимических параметров при построении геохимических ореолов и полей осуществляется следующим образом. Верхний и нижний пределы колебаний фоновых содержаний элемента устанавливаются по формулам: $C_a = C_f \pm 3\sigma$ при нормальном законе распределения, $C_o = C_f/\epsilon^3$ при логнормальном законе распределения элемента, где C_a – аномальное содержание элемента; C_f – фоновое содержание элемента; σ – стандартное отклонение; ϵ – стандартный множитель. При выделении слабых геохимических аномалий используют методы многомерно-статистического анализа, дополнительно к анализу трендовых поверхностей и регрессионному анализу [Принципы..., 1979]. Трендовые поверхности как функция содержаний элементов от пространственных координат отстраиваются с использованием полиномиальной или регрессионной модели. При исследовании трендовых поверхностей подбирают такую, которая описывает региональную изменчивость распределения элемента.

Исследуются структуры аномальных геохимических полей на основе специальных методов их гомогенизации: R-факторный, дискриминантный, регрессионный, метод нейронных сетей, кластер-анализ переменных [В.Г.Ворошилов, 2007 г.]. Метод R-факторного анализа основан на вычислении значений факторов путем перемножения факторных коэффициентов на концентрации элементов, нормированных на среднее содержание по выборке. При вычислении значений факторов используют не нормированные содержания элементов, а их кларки концентраций. Матрица факторных коэффициентов вычисляется и на эталонном объекте. Сравнение



эталонных и испытуемых объектов позволяет выявить внутреннее строение геохимического поля и тем самым прогнозировать скрытое оруденение (рис. 12, 13).

Рис. 12. Дифференциация элементов по их центробежно-центростремительным свойствам в ряду зональности первичных геохимических ореолов.

Членение ряда приведено по Л.Н. Овчинникову [1976 г.]. Кривыми показаны частоты встречаемости содержаний в ореолах элементов, относящихся к группам центростремительных (1), минимально-центробежных (2), дефицитно-центробежных (3) и центробежных (4) (по В.И. Силаеву [1987 г.]), с исправлениями позиции Au, Cu, Sn и As

Для определения связей между ресурсами и положением оруденения в геохимических полях при количественном прогнозе рекомендован вариант множественной шагово-циклической регрессии [Р.И. Дубов и др., 1979 г.]. Этот метод требует предварительного построения функции регрессии на известном эталоне.

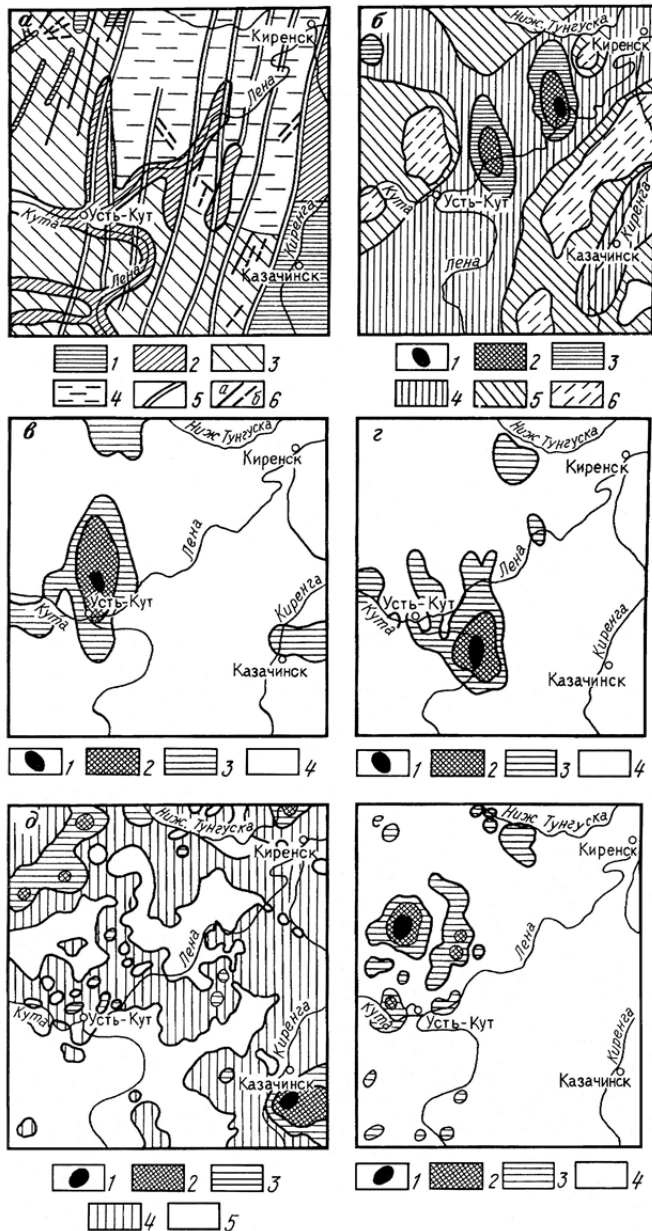


Рис. 13. Гидрохимические карты юго-восточной части Сибирской платформы (по И.С. Ломоносову и др.)

а – геологическая схема: 1 – карбонатные, местами соленосные отложения a_1 – a_2 ; 2 – мергели и алевролиты с прослоями песчаников и гипса a_2 – a_3 ; 3 – песчаники и доломиты с прослоями аргиллитов и алевролитов O_1 – O_2 ; 4 – алевролиты и аргиллиты с прослоями песчаников и известняков O_2 – O_3 ; 5 – оси антиклиналей; 6 – разломы установленные (*а*) и предполагаемые (*б*).

Поверхностные воды, плотность опробования 1 точка на 300 км²: *б* – общая минерализация (в г/л): 1 – 15-24; 2 – 3,5-15; 3 – 0,8-3,5; 4 – 0,2-0,8; 5 – 0,1-0,2; 6 – менее 0,1; *в* – серебро (в мкг/л): 1 – 19-33; 2 – 3,5-19; 3 – 0,4-3,5; 4 – менее 0,4; *г* – медь (в мкг/л): 1 – 1,6-2,2; 2 – 0,6-1,6; 3 – 0,15-0,6; 4 – менее 0,15.

Подземные воды, плотность опробования 1 точка на 50 км²: *д* – серебро (в мкг/л): 1 – 8-22; 2 – 2,5-8; 3 – 0,5-2,5; 4 – 0,07-0,5; 5 – менее 0,07; *е* – медь (в мкг/л): 1 – 0,8-1,6; 2 – 0,3-0,8; 3 – 0,15-0,3; 4 – менее 0,15

В.М. Питулько, И.Н. Крицук [1990] показали, что самоорганизация геохимических полей обусловлена многоуровневыми структурами, распространенными в рудоносных регионах. Такие многоуровневые структуры обладают пространственной и статистической упорядоченностью, что используется для прогнозирования рудных районов и полей в различных территориях. Зональное размещение центробежных и центростремительных элементов и геохимических показателей во всех разноранговых ореолах и полях однотипно и универсально (рис. 12, 14). Ими предложены подходы к прогнозированию и оценке потенциальных рудных районов, рудных узлов, рудных полей.

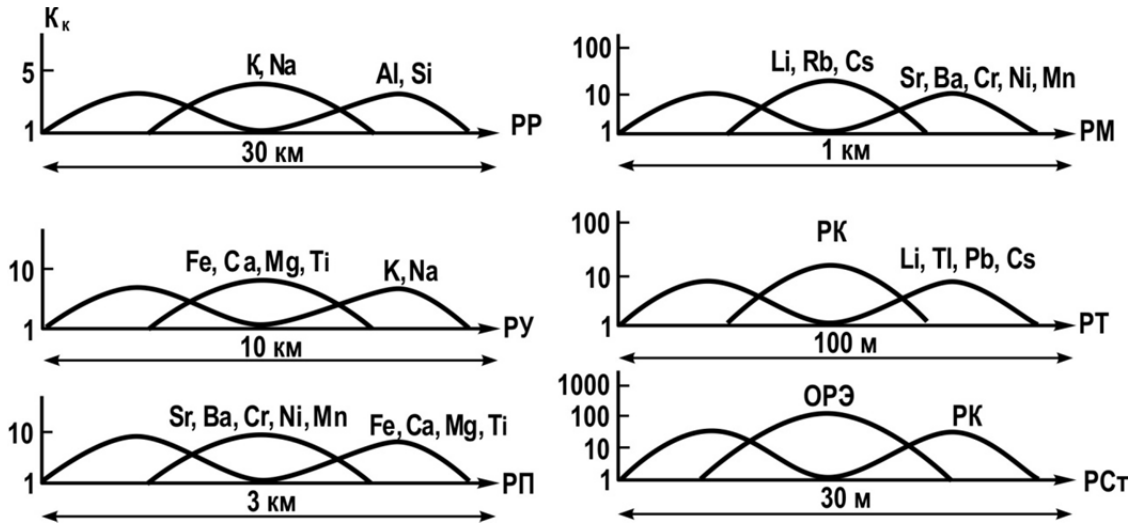


Рис. 14. Основные элементы-индикаторы ореолов рудоносных структур разного ранга и их место в рядах латеральной зональности.

PK – элементы рудного комплекса; ОПЭ – основной рудный элемент; PСт – рудный столб

Зональное распределение элементов в ореолах эндогенных объектов любого ранга является однотипным и универсальным. По выявленным показателям геохимической зональности в рудных полях можно устанавливать положение центра рудонакопления и тем самым выполнять прогнозирование (рис. 15).

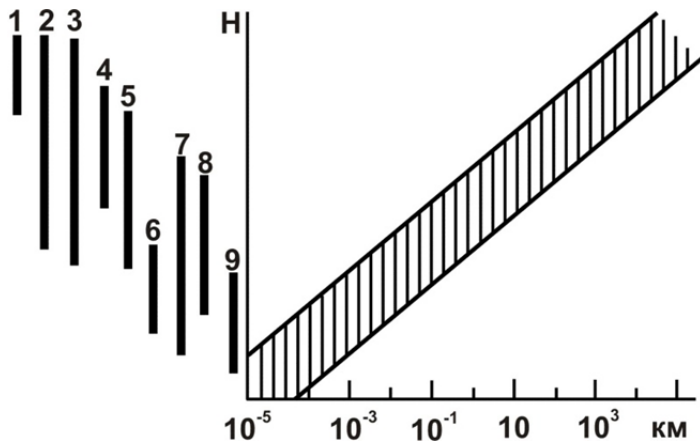


Рис. 15. Изменение с глубиной величины мультипликативного коэффициента зональности

$$\left(K_m = \frac{Pb \cdot Ag \cdot Sb}{Cu \cdot Bi \cdot W} \right) \text{ первичных}$$

ореолов оловорудных

месторождений Дальнего Востока

(по С.В. Григоряну и А.Г. Миронюку).

Месторождения: 1 – Южное, 2 – Смирновское, 3 – Зимнее, 4 – Верное, 5 – Ветвистое, 6 – Ивановское, 7 – Дальне-таежное, 8 – Трудное, 9 – Обычное

Структурно-тектонический анализ. В процессе такого анализа выделяются и дифференцируются структурные складчато-разрывные формы, определяются их закономерные пространственные и временные сочетания. Устанавливаются связи между геологическими телами, тектоническими структурами и рудными скоплениями. Структуры складчатые и дизъюнктивные, очагово-купольные являются важнейшими рудоносными образованиями земной коры. Основной целью тектонического анализа служит реставрация истории геологического развития региона и его

тектонического районирования. Используя результаты структурно-тектонического анализа в комплексе с геофизическими и геохимическими данными можно выделять рудоносные и потенциально рудоносные геологические структуры и тела. Рудная минерализация обычно локализуется в наиболее ослабленных, осложненных частях структур – в замках складок, флексурах, шовных зонах, участках максимальной дисгармоничности, осложненных разрывами. С учетом всех этих и других региональных факторов выполняется прогнозирование рудоносности территорий.

Морфологический анализ заключается в реставрации хода развития земной коры на определенной территории. Он выявляет связь между эндогенными (движениями земной коры), экзогенными процессами и современной морфологией поверхности Земли на территории исследований. При прогнозно-минерагенических исследованиях на основе морфологического анализа определяется пространственная связь рудной минерализации с морфоструктурами. Методами морфологического анализа служат геоморфологическое картирование, морфоструктурный и морфотектонический анализы территорий. Они хорошо освещены в специальных публикациях Д.Г. Сапожникова [1972], И.К. Волчанской и др. Например, математическое моделирование поверхности регионального пенеппена Центрального Казахстана позволило выявить морфоструктуры разных порядков: Центрально-Казахстанское поднятие, дочерние своды и кольцевые морфоструктуры. Удалось обнаружить ряд неизвестных или предполагавшихся по геофизическим данным кольцевых вулканоплутонических структур, с которыми связана эндогенная рудная минерализация (см. рис. 11).

Палеотектонические реконструкции позволяют выявлять геологические палеообстановки, сходные с теми, в которых в современных условиях формируются некоторые виды полезных ископаемых – осадочные железа, марганца, бокситов и других. Основными методами являются фациальный анализ, сравнительно-литологический, палеоэкологический анализы. Палеотектонические реконструкции широко применяются при региональном прогнозировании полезных ископаемых экзогенного, экзогенно-эндогенного классов. В этих случаях основными методами служат анализ мощностей осадков, анализ несогласий и перерывов между толщами, анализ тектонических нарушений и магматизма. Крупномасштабные исследования формируют палеотектонические критерии обнаружения различных типов месторождений полезных ископаемых в тех или иных регионах.

Формационный анализ выполняется для систематики естественных ассоциаций горных пород и руд, характера их взаимных связей в истории развития земной коры и отдельных её структур. Изучение условий образования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, формационная систематика рудных объектов неразрывно связаны с развитием учения о геологических формациях.

Для целей регионального прогноза важнейшее значение имеет выявление рудоносных и рудовмещающих формаций, систематизация месторождений и проявлений полезных ископаемых с выделением рудных формаций и формационных типов месторождений. При выделении рудных формаций широко используются историко-геологический и структурно-вещественный подходы. Они хорошо освещены в геологической литературе. Наибольший вклад в их развитие внесли Ю.А. Билибин, Л. Брейтгаупт, Д.И. Горжевский, Е.Е. Захаров, С.С. Смирнов, В.И. Смирнов, В.А. Кузнецов, Р.М. Константинов, Д.В. Рундквист, Ф.Н. Шахов и другие исследователи.

Выявление критериев выделения рудных формаций позволяет отличать среди однотипных формационных групп безрудные от рудоносных объектов. По составу, структуре, геологической позиции рудоносные формации обладают признаками, указывающими на тот или иной сопутствующий тип оруденения. По характеру связи оруденения с геологическими формациями выделяют продуктивные рудоносные – гидротермально-метасоматическую, осадочно-диагенетическую, осадочно-гидротермальную, вулканогенно-гидротермальную, метаморфогенно-гидротермальную формации. Составной частью их является рудный парагенезис. Также выделяют рудоносные материнские формации – осадочную, магматическую, метасоматическую, с которыми генетически связано оруденение; рудовмещающие – раннюю осадочную, позднюю метаморфическую, метасоматическую, магматическую [Рундквист и др, 1986].

А.И. Кривцовым [1989] предложена другая классификация геологических формаций по их роли в рудогенезе с выделением рудовмещающих, рудоносных, рудогенерирующих, рудообразующих. Рудовмещающие формации выступают в качестве среды рудоотложения. Рудоносные выступают как среда рудоотложения и как источник процессов рудогенеза. Рудогенерирующие формации служат источниками энергии, вещества и транспортирующих агентов рудогенеза, локализованных в рудовмещающих формациях. Рудообразующие формации являются источниками энергии при рудообразовании, а источниками вещества служат рудоносные формации.

1.6. Методика выделения перспективных рудоносных площадей

Научной основой выделения рудоперспективных площадей и других рудных объектов служат достижения теоретической минерагении и учения о месторождениях полезных ископаемых. Основное положение минерагении–металлогении о взаимосвязи процессов рудообразования с другими геологическими процессами позволяет достоверно прогнозировать оруденение на конкретных площадях. Методика выделения перспективных участков при геологосъемочных работах основана на выявлении практикой прямых поисковых признаков оруденения. При этом основным принципом оценки рудоносности площадей является принцип аналогии. При выделении рудоперспективных территорий и объектов используется рациональное комплексирование разных методов исследований. Но основными из них являются региональный минерагенический анализ, структурно-геометрический анализ, структурно-геометрический, регионально-геофизический, регионально-геохимический.

Регионально-минерагенический анализ направлен на выделение перспективных площадей разного ранга на основе анализа всех данных о рудоконтролирующих факторах, на разработку критериев прогноза и определения рудоперспективных участков. Критерии прогнозирования делятся на универсальные, применимые для многих типов оруденения, и частные, пригодные для прогнозирования лишь конкретных месторождений одного типа. Широко используются минералого-геохимические критерии, в том числе кристаллографические (типы кристаллов), геометрические. Они позволяют выделять конкретные рудоносные участки и отбраковывать неперспективные площади. Используются шлиховые ореолы рудных минералов, зоны рудоносного метасоматоза, геохимические поля и ореолы, гидрохимические, атмосферические аномалии, элементы-индикаторы оруденения, зональное

размещение оруденения. На основе рудно-метасоматической зональности уточняется прогнозируемый тип месторождений, возможные размеры и выдержанность оруденения на глубину.

Структурно-геометрический метод основан на расположении месторождений полезных ископаемых в виде правильного геометрического узора в узлах пересечения сети контролирующих разломов и разнородных по литологии пород. Этот метод базируется на законах геометрической кристаллизации природного вещества в пространстве. Он широко освещен в трудах Е.С. Федорова, Р. Кюри, И.И. Шафрановского, Я. Кутины, Е.А. Радкевич, М.А. Фаворской, И.Н. Томсона, В.А. Королева, А.Г. Бетехтина, В.И. Старостина, Р.М. Константинова, Д.В. Рундквиста и других геологов.

Регионально-геофизический метод основан на вскрытии и использовании закономерных геологических обстановок проявления оруденения в физических полях – гравиметрических, сейсмических, магнитных, электрических, радиометрических, выявляемых геофизическими съемками. Геофизические методы существенно повышают глубинность прогноза, особенно в регионах, перекрытых мощным слоем рыхлых отложений, покровами эффузивных пород. Специальные глубинные геофизические исследования типа ГСЗ, МОВ, МОВЗ, сейсмической томографии иногда позволяют выявлять глубинные неоднородности в строении нижних слоев-блоков земной коры, подстилающие крупные рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры. Особенно показательными оказываются блоки разуплотненных пород.

Регионально-геохимический метод использует закономерные взаимосвязи промышленного оруденения и региональных геохимических полей. В результате проводится геохимическое районирование территорий, выявляются геохимические поля и геохимическая зональность геологических структур. Для этого используются результаты геологического картирования и литохимических съемок территорий при региональном прогнозировании (рис. 7, 11).

Прогнозная оценка перспективных площадей и объектов предусматривает оценку количества минерального сырья в недрах рассматриваемой территории на основе регламентированных прогнозных ресурсов категорий P_3 , P_2 , P_1 . Результаты геологического прогноза разных стадий геологоразведочных работ должны выражаться не только в виде контуров, ограничивающих наиболее перспективные участки на карте, но и в виде первой оценки количества и качества минеральных ресурсов объектов, находящихся на исследуемой территории – рудные узлы, рудные поля, месторождения. По результатам геологического прогноза проектируются и ставятся более детальные исследования на рудоперспективных площадях. Они дают материал для дальнейшего экономического прогнозирования, то есть по развитию горной промышленности в регионе. Прогнозные ресурсы являются основой текущего и перспективного планирования, а также для долгосрочного прогнозирования направлений и объемов геологоразведочных работ. Прогноз опирается на минералогические, структурно-тектонические, петрологические, минералого-геохимические и другие закономерности образования месторождений. Но не всякое скопление минерального сырья является месторождением, а только то, в котором есть потребность и рентабельность добычи и переработки. Поэтому комплекс геологических факторов дополняется технико-экономическими показателями.

Процедура прогнозирования должна включать такие операции:

- 1) определение границ системы – объекта;

- 2) выявление её элементов и взаимосвязей между ними;
- 3) установления их влияния и воздействия на параметры состояния системы или объекта.

Поэтому к важным прогнозным показателям относятся масштабы, количество ресурсов, линейные параметры объектов, особенности геологического строения, состава и т.п. В качестве элементов системы можно рассматривать отдельные рудные узлы, рудные поля, месторождения сходного геологического строения и состава. Разрабатываются методы автоматизированного прогнозирования рудоносных территорий на ЭВМ [Л.Н. Дуденко, И.А. Наторхин, 1981; Б.А. Чумаченко, В.В. Марченко, К.В. Межеловский и др., 1990 и др.].

На примере Норильского медно-никеленосного региона Сибирской платформы показаны возможности и пути реализации геологоразведочных работ при региональной прогнозной оценке рудоносных территорий количественными методами. Определены уровни информативности и установлена значимость прогнозно-поисковых признаков и рудоконтролирующих факторов, а также степень перспективности отдельных частей региона с точки зрения последовательности проведения прогнозно-поисковых работ разных стадий геологоразведочного процесса (рис. 16, 17).

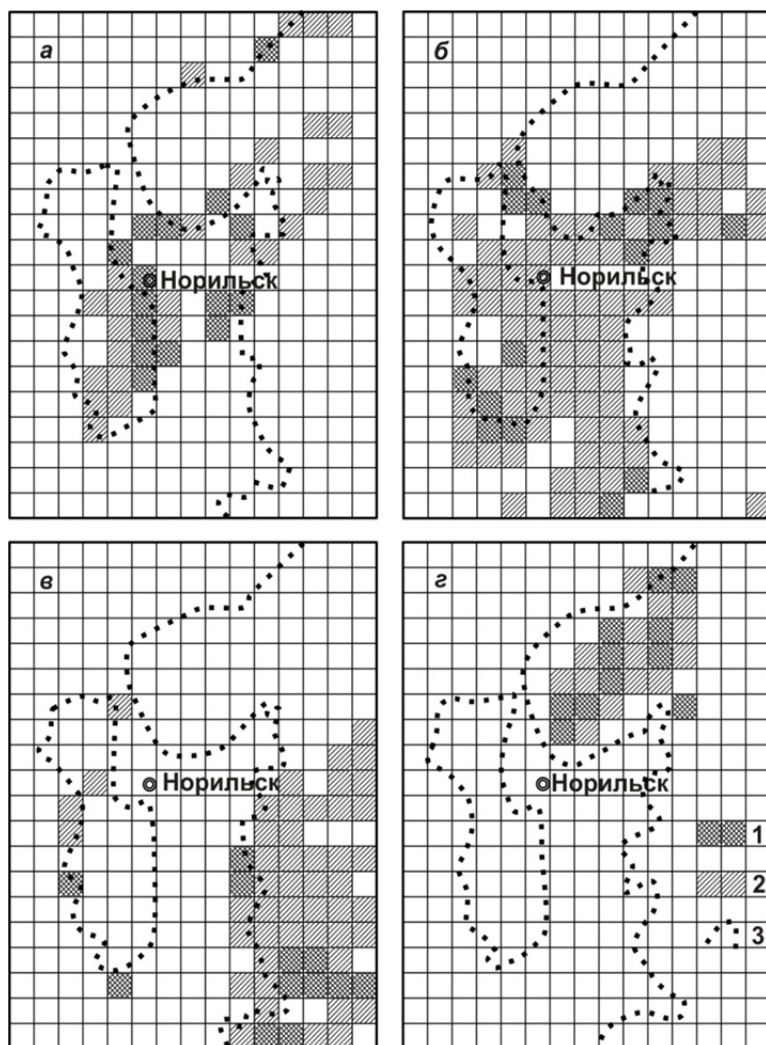


Рис.16. Схема расположения ячеек с минерагенической специализацией:

- а** – медно-никелевой,
- б** – полиметаллической,
- в** – медно-цеолитовой,
- г** – железорудной:

1 – ячейки с наблюдаемым числом рудопроявлений; 2 – для а, 3 – для б,

1 – для в и г на площади ячейки; 2 – ячейки с предполагаемыми рудопроявлениями (с благоприятными геологическими условиями для образования рудопроявлений); 3 – контур позднепермского-раннетриасового лавового плато (по подошве)

(по Л.Г. Сухову, Л.Н. Дуденко, И.А. Наторхину)

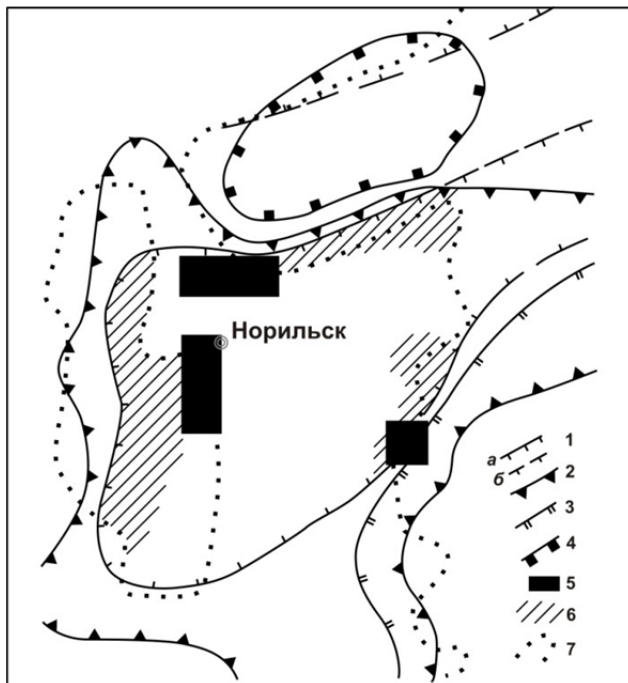


Рис. 17. Схема восстановленной металлогенической зональности Норильского региона

(составлена Л.Г.Павловым, И.А. Наторхиным на основе количественного прогнозирования).

1-4 – контуры ареалов: 1 – сульфидных медно-никелевых в пределах хорошо (а) и фрагментарно (б) изученной территории; 2 – полиметаллических; 3 – железорудных; 4 – медно-цеолитовых; 5-6 – участки: 5 – с известными медно-никелевыми месторождениями; 6 – благоприятные для локализации месторождений; 7 – контур позднепермского-раннетриасового лавового плато (по подошве)

1.7. Прогнозно-минерагенические и прогнозные карты, методы их составления

В качестве итоговых документов региональных прогнозно-минерагенических работ масштабов 1:1000000...1:50000 выступают минерагенические и прогнозные карты, составленные в масштабе исследований. Минерагеническая карта отражает закономерности размещения месторождений полезных ископаемых (масштабов 1:1000000–1:500000). Она приобретает статус прогнозно-минерагенической карты, если снабжена накладкой прогноза оруденения того же масштаба. В этом случае прогноз завершается расчетом прогнозных ресурсов категории P_3 . Карта прогноза, как самостоятельный документ прогнозирования минеральных ресурсов, составляется при завершении средне-, крупномасштабных геологических работ масштабов 1:200000 (1:100000) и 1:50000 (25000). К прогнозным картам относятся геологические карты со специальной минерагенической (металлогенической) нагрузкой, на анализе которой можно обосновать прогноз на поиски месторождений полезных ископаемых. Прогнозные ресурсы отвечают категориям P_3 и P_2 .

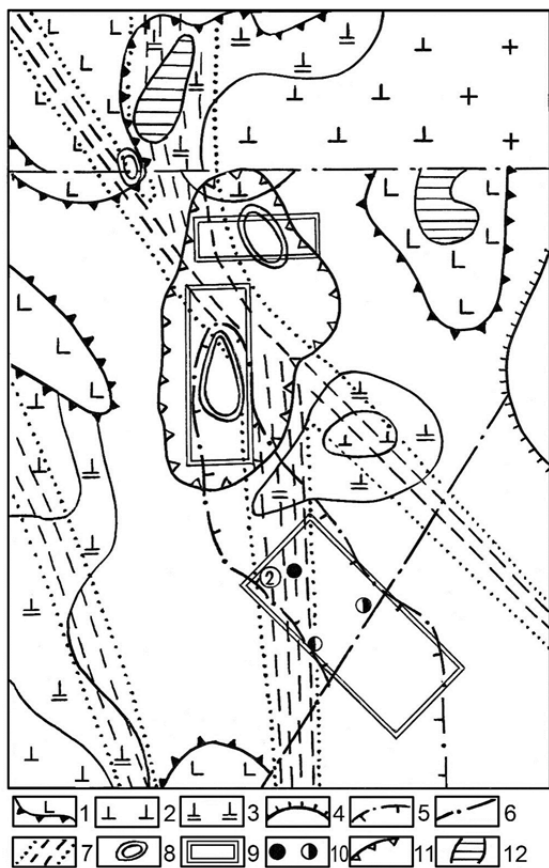
Региональная прогнозно-минерагеническая карта составляется на основе таких материалов:

- 1) геологической карты района геологосъемочных работ в масштабе прогнозирования;
- 2) тектонических карт и схем тех же масштабов;
- 3) карты геологических формаций;
- 4) геофизических карт – гравиметрической, магнитометрической, сейсмометрической;
- 5) карты геохимических полей, ореолов, потоков минералов и элементов;

- 6) карты интерпретации космических и высотных аэрокосмосъемок;
- 7) карты полезных ископаемых;
- 8) кадастра всех известных на изучаемой площади месторождений, рудопроявлений, точек минерализации;
- 9) карты прогноза предыдущей стадии геологоразведочных работ.

Основные материалы сопровождаются кадастром месторождений и рудопроявлений; схемами геологической, геофизической, прогнозно-поисковой изученности; структурно-формационного районирования территории и другими вспомогательными данными, отражающими особенности распределения оруденения в пространстве, времени и связи его с магматическими, метаморфическими, метасоматическими образованиями.

Минерагенические карты составляются на структурно-формационной основе. Независимо от масштаба на них отражаются следующие данные: 1) главнейшие структурные элементы земной коры – складчатые области, платформы, срединные массивы, зоны тектоно-магматической активизации и их составные части – антиклинории, синклинории, террейны, вулканические зоны, зоны смятия, сутуры, глубинные разломы, впадины, прогибы и другие с указанием возраста и типа структур;



2) тектонические разрывы разных рангов с разделением их по типам, времени заложения и подновления; 3) геологические формации (осадочные, вулканические, интрузивные, метаморфические, метасоматические) или структурно-формационные комплексы (на обзорных картах) с отображением их типов, вещественного наполнения и возраста; 4) результаты интерпретации космических, аэровысотных фотосъемок и геофизических материалов; 5) геохимические данные; 6) все известные на площади работ месторождения, рудопроявления, систематизированные по составу руд, размеру, морфологии, формационным и геолого-промышленным типам (рис. 18, 19).

Рис.18. Прогнозная карта юго-восточного фланга Верхнеуральского колчеданного рудного района (масштаб 1:200000)
(по А.И. Кривоцу, М.Б. Бородаевской и др., 1983):

1 – контуры погребенных до глубин 300 м базальтовых поднятий (подрудная толща); 2-3 – контуры осевых частей вулканотектонических депрессионных структур, выполненных липарито-дацитами рудовмещающей толщи; 4 – граница распространения кислых вулкаников рудовмещающей толщи; 5 – осевая часть прогиба, выполненного вулканогенно-осадочными породами мощностью более 400 м; 6 – синвулканические разрывы; 7 – зоны полиэлементных геохимических аномалий; 8 – локальные геофизические аномалии (МПП); 9 – перспективные на медноколчеданные руды участки; 10 – скважины колонкового бурения, пройденные до прогнозирования (б) и после прогнозирования (а); 11 – контуры озера; 12 – проекции известных рудных тел нижнего горизонта

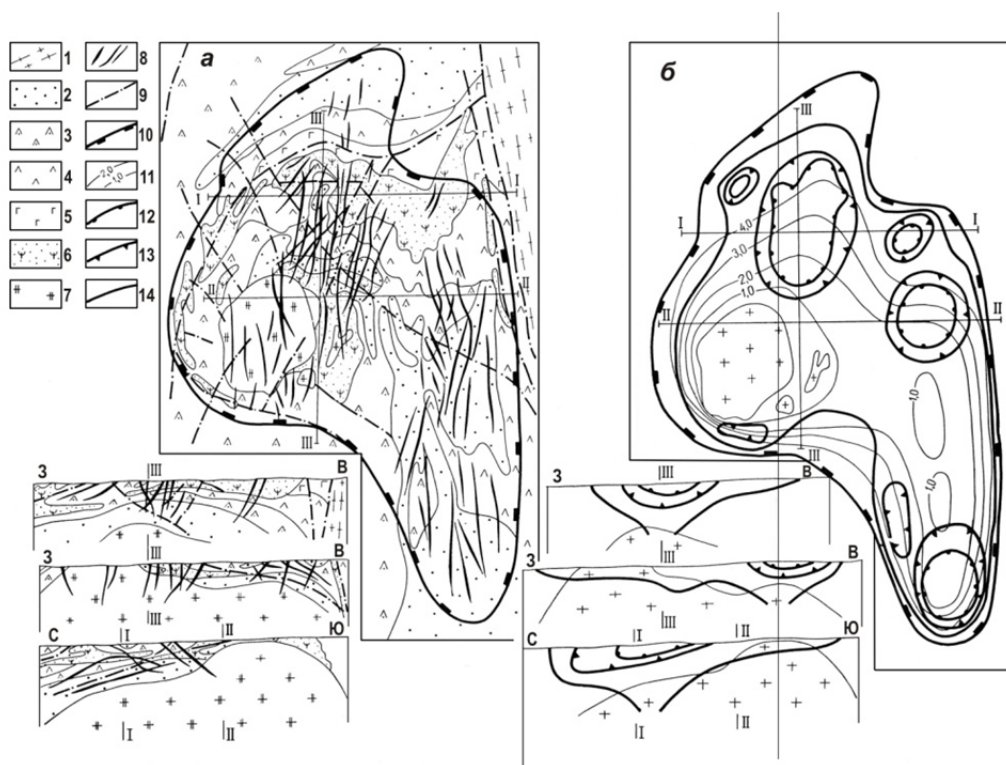


Рис. 19. Рудное поле со штокверковым (жильно-прожилковым) оруденением в дайках: геологический план и разрезы (а), схема эндогенной зональности (б):

1 – осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 2 – адамеллиты; 3 – гранито-гнейсы, гнейсы; 4 – базальтовые порфиры, вариолиты, плагиоклазовые порфиры; 5 – диабазы; 6 – габбро; 7 – серпентиниты, тальк-карбонатные породы; 8 – дайки; 9 – разломы, 10 – граница рудного поля; 11 – изолинии кровли массива адамеллитов; 12 – области развития полиметаллической ассоциации, 13 – области развития пирит-кварцевой ассоциации; 14 – область развития анкерит-кварцевой ассоциации. Римскими цифрами обозначены линии разрезов геологической структуры (по В.И. Ваганову и др.)

Опыт составления прогнозно-минерагенических карт масштабов 1:1000000–1:500000 и 1:200000 показал, что минерагеническую карту целесообразно представлять в виде комплекта специализированных карт. В такой комплект входят: схема минерагенического районирования территории; карта размещения оруденения в тектонических структурах; карта размещения оруденения в гравиметрических, магнитных полях; карта размещения оруденения в геохимических полях, ореолах и потоках рассеяния. Завершает комплект карта критериев и признаков промышленного оруденения. На ней выносятся все установленные закономерности распределения рудных объектов – руды, окколорудные метасоматиты, геохимические, геоморфологические, геофизические и прочие данные (рис. 12, 19, 20). Именно многоплановость работ по составлению региональных мелко- и среднемасштабных прогнозно-минерагенических карт и определяет комплексность проводимых исследований. Методические вопросы прогнозирования обсуждаются в специальных публикациях Г.Р. Бекжанова, Ю.А. Билибина, В.В.Бродового, Л.Н. Дуденко, Б.М. Михайлова,

Н.В. Кочкина, Л.Н. Овчинникова, Д.В. Рундквиста, Д.Г. Сапожникова, М.Л. Сахновского, С.С. Смирнова, Л.С. Фарфеля, А.Г. Харченкова, Е.Т. Шаталова и др.

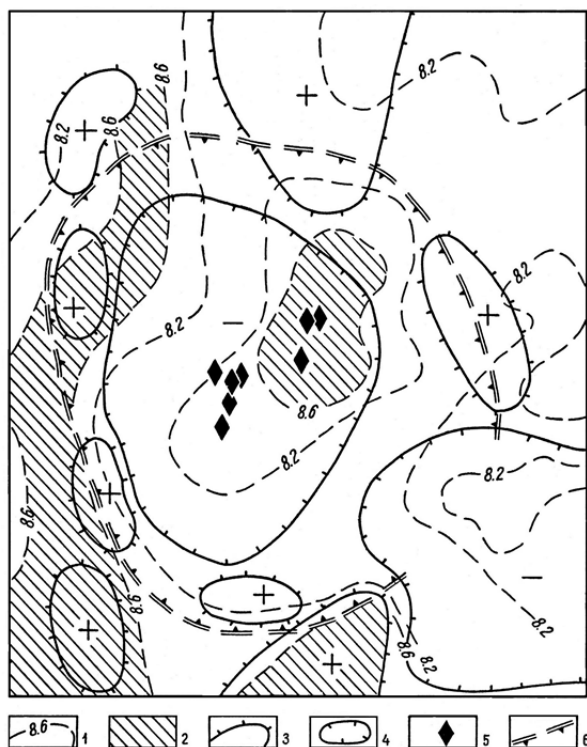


Рис. 20. Отражение среднепалеозойского кимберлитового поля в данных гравиметрии и сейсмометрии
(по В.И. Ваганову и др.).

1 – изолинии граничных скоростей по поверхности верхней мантии (V_T , км/с);
2 – области со значениями $V_T > 8,6$ км/с;
3-4 – локальные аномалии поля силы тяжести: 3 – положительные, 4 – отрицательные; 5 – кимберлитовые трубки; 6 – граница кимберлитового поля

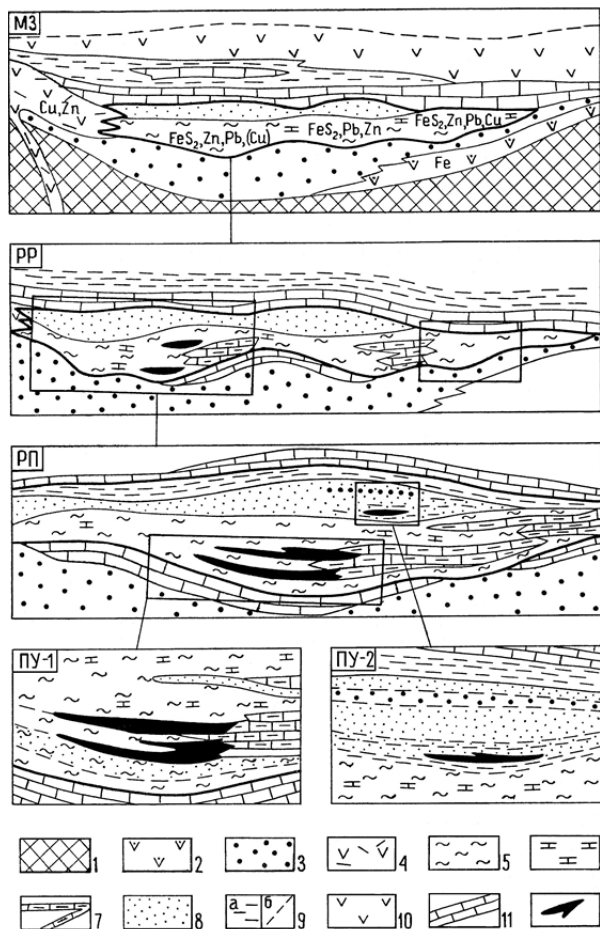


Рис. 21. Последовательность выявления категорий прогнозных площадей на примере модельных обстановок нахождения рудных районов, рудных полей и поисковых участков в терригенных эвгеосинклиналях (палеофациальные разрезы)

(по В.И. Ваганову и др.):

1 – формационные комплексы основания; 2 – вулканогенно-терригенная формация (базальт-риолитовая и толеит-базальтовая); 3 – карбонатно-терригенная (кварцито-глиноземисто-сланцевая) формация; 4 – вулканогенно-терригенная (риолит-базальтовая) формация натриевой серии; 5-9 – углеродистая терригенно-флишоидная (черносланцевая) формация: 5 – углеродистые метапелиты, 6 – карбонатсодержащие углеродистые метапелиты, 7 – углеродсодержащие слюдисто-карбонатные породы, 8 – метатерригенные кварциты, 9 – графит-кварц-слюдистые сланцы (а) и то же в форме маломощных прослоев (б); 10 – андезитобазальтовая формация; 11 – горизонты мраморизованных карбонатных пород; 12 – рудные залежи. МЗ – металлогенная зона; РР – рудный район; РП – рудное поле; ПУ – поисковый участок (площадь потенциального месторождения)

Полевые работы ориентируются на уточнение информации по формационному анализу геологической среды изучаемого региона, условиям локализации оруденения, морфологии и вещественному составу руд и околорудных метасоматитов, их сопоставления и взаимоотношений между собой, вероятных масштабов рудных объектов, составу и строению рудовмещающих толщ и рудоносных магматитов (рис. 21–25). Исследования сопровождаются отбором проб на разные виды анализов.

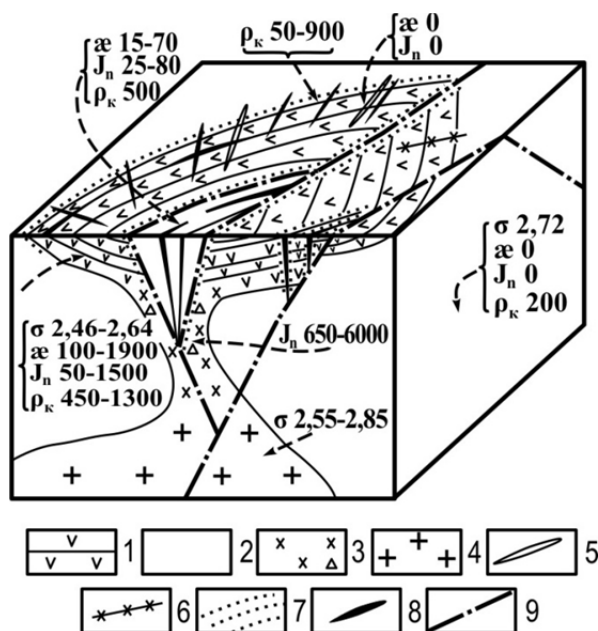


Рис. 22. Геолого-геофизическая модель рудного поля в вулканотектонической депрессии (а) и характер основных геофизических аномалий (б–е)

(по М.М. Константинову и др.):

1 – эффузивы верхнего структурного яруса ($\sigma = 2,46-2,64$; $\epsilon = 100-1900$; $J_n = 50-1500$; $\rho_k = 450-1300$); 2 – терригенные породы основания ($\sigma = 2,72$; $\epsilon = 0$; $J_n = 0$; $\rho_k = 200$); 3 – субвулканические и жерловые образования ($\sigma = 2,45-2,62$; $\epsilon = 250-1700$; $J_n = 650-6000$; $\rho_k = 650-1500$); 4 – гранитоиды ($\sigma = 2,55-2,65$; $\epsilon = 2000$; $J_n = 500$; $\rho_k = 2500$); 5 – дайки основного состава ($\sigma = 2,68$; $\epsilon = 2400$; $J_n = 1200$); 6 – дайки кислого состава ($\sigma = 2,53$; $\epsilon = 15$; $J_n = 10$; $\rho_k = 450-1300$); 7 – гидротермально измененные породы ($\sigma = 2,50-2,62$; $\epsilon = 15-70$; $J_n = 25-80$; $\rho_k = 500$); 8 – рудные жилы и минерализованные зоны ($\sigma = 2,52-2,75$; $\epsilon = 0-150$; $J_n = 0-500$; $\rho_k = 50-900$); 9 – тектонические нарушения. Единицы измерений: плотность σ , г/см³; магнитная восприимчивость ϵ , $n \cdot 10^{-6}$, СГС; естественная остаточная намагниченность J_n , $n \cdot 10^{-6}$, СГС; электросопротивление ρ_k , Ом·м

Рис. 23. Карта геохимических ассоциаций элементов вторичных ореолов рудного района

(по В.А. Макарову).

1-7 – элементная характеристика ассоциаций, в знаменателе – коэффициенты контрастности элементов: 1 –

$$\frac{\text{Ag}}{120-17} \quad \frac{\text{Pb}}{65-11} \quad \frac{\text{Zn}}{41-2} \quad \frac{\text{Cu}}{14-2} \quad \frac{\text{Ba}}{12-2} \quad \frac{\text{Mo}}{7-2}$$

$$2 - \frac{\text{Ag}}{13-4} \quad \frac{\text{Pb}}{9-2} \quad \frac{\text{Zn, Y}}{3-2} \quad \frac{\text{Ba}}{2}$$

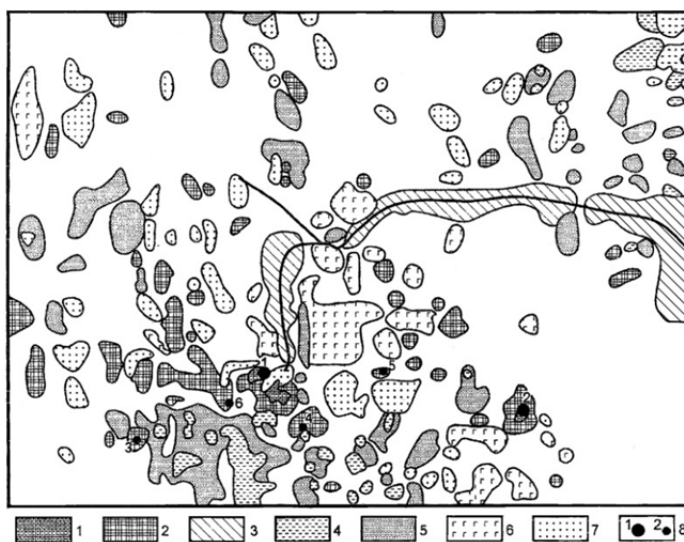
3 – то же, что для 1+2 в долине;

$$4 - \frac{\text{Mn}}{18-6} \quad \frac{\text{Y, Ba}}{3-2} \quad \frac{\text{Co, Ag, Cu}}{2,5-1,5} \quad \frac{\text{P}}{2}$$

$$5 - \frac{\text{Mn}}{4-2} \quad \frac{\text{Ag}}{2} \quad \frac{\text{Ba}}{2}; \quad 6 - \frac{\text{Ni}}{2,5} \quad \frac{\text{Cu}}{2} \quad \frac{\text{Co}}{2}$$

$$7 - \frac{\text{Cr}}{0,1-0,2} \quad \frac{\text{Co, Ni}}{0,2-0,4} \quad \frac{\text{Ti}}{0,6} \quad \frac{\text{Mn}}{0,3-0,4} \quad \frac{\text{B}}{1,5-2}$$

8 – месторождения (1) и рудопроявления (2)



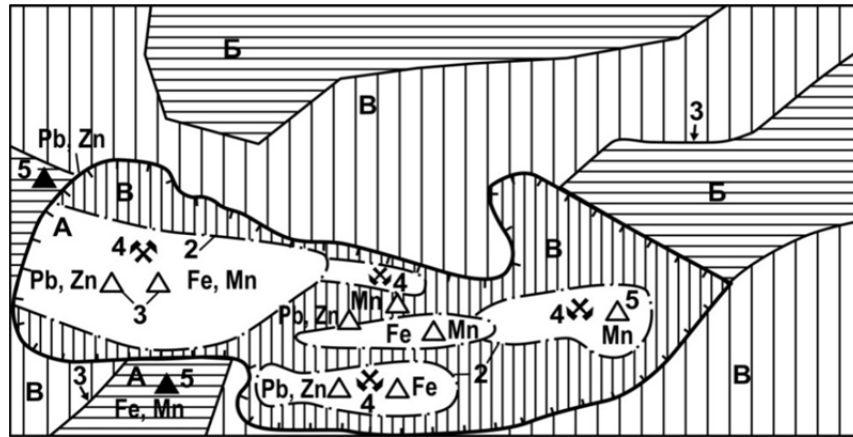


Рис. 24. Карта прогноза рудного узла складчатой области (по Л.Н. Павленко):

1 – граница рудного узла; 2 – граница рудного поля; 3 – границы участков разной перспективности (А – площади, рекомендуемые на поиски; Б – площади, рекомендуемые на геологосъемочные работы масштаба 1:50000; В – неперспективные площади) 4 – месторождения (разведанные, эксплуатируемые, отработанные); 5 – залежи руд

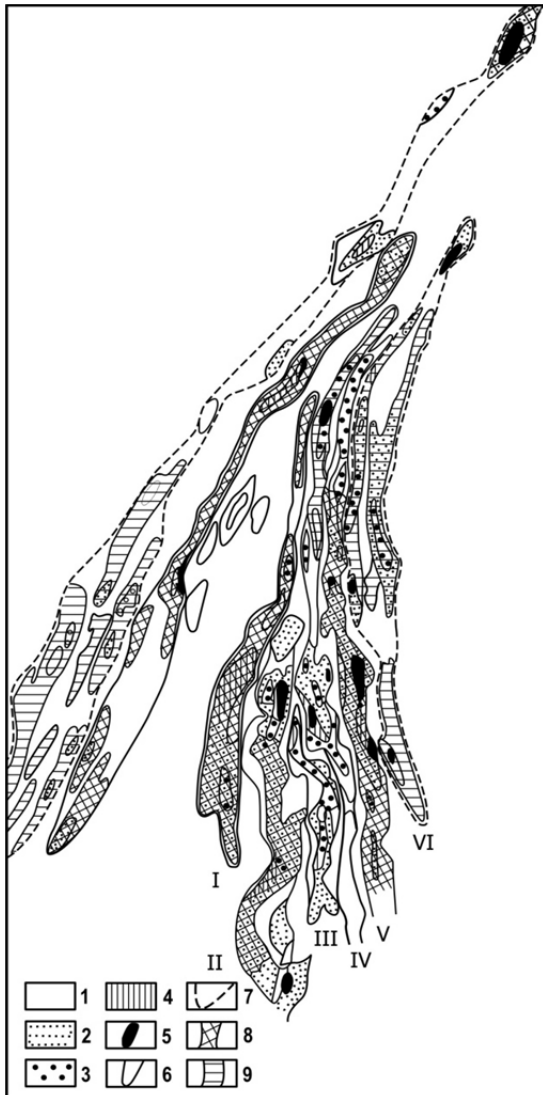


Рис. 25. Карта мультипликативных литохимических аномалий (Южный Урал), (по Ю.Н. Юшкову):

1-5 – аномальные поля в геофонах значений: 1 – 3, 2 – 10, 3 – 30, 4 – 100, 5 – контуры аномалий; 6 – медно-колчеданного профиля, 7 – золото-барит-полиметаллического; 8 – весьма перспективные; 9 – перспективные

При минерагенических работах основное внимание уделяется камеральным работам. Они включают: 1) сбор, обобщение и анализ региональных геолого-геофизических, геохимических материалов, результатов геологосъемочных, поисковых, разведочных работ; тематических исследований по стратиграфии, тектонике, геодинамике, магматизму, оруденению, отраженных в публикациях и рукописных отчетах; 2) геофизическое отображение фактических данных и результатов обобщения в виде специализированных карт, литолого-стратиграфических колонок, разрезов структурных единиц разного ранга, диаграмм, графиков и т.п.

При подготовке структурно-формационной основы составляются мелкомасштабные схемы стратиграфо-формационного районирования территории, отражаются типы рудных провинций, рудных зон, районов,

рудных узлов, особенности их проявления и геологического развития.

При анализе имеющихся геологических материалов главное внимание обращается на следующие аспекты:

- 1) систематику рудоносных объектов с выходом на формационные и геолого-промышленные типы месторождений и на оценку их значимости в регионе;
- 2) выяснение условий локализации оруденения с определением роли отдельных геологических факторов (структурных, магматических, метасоматических и др.) в процессах рудогенеза и размещения месторождений, рудопроявлений;
- 3) оконтуривание минерагенических единиц разных рангов и определение их промышленного потенциала (рис. 21, 26–30).

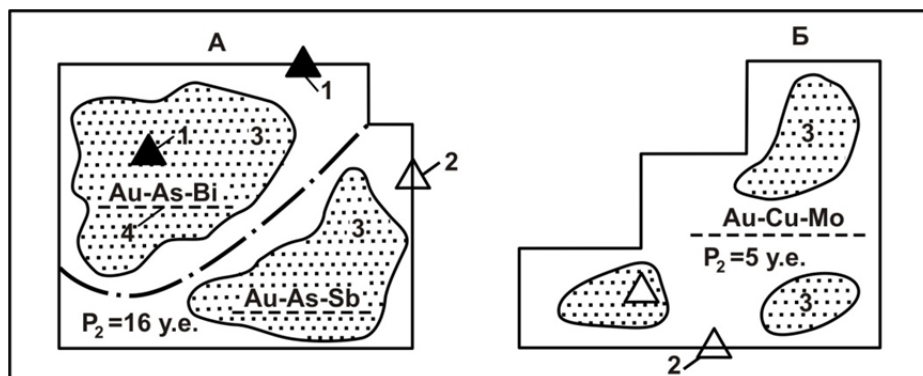
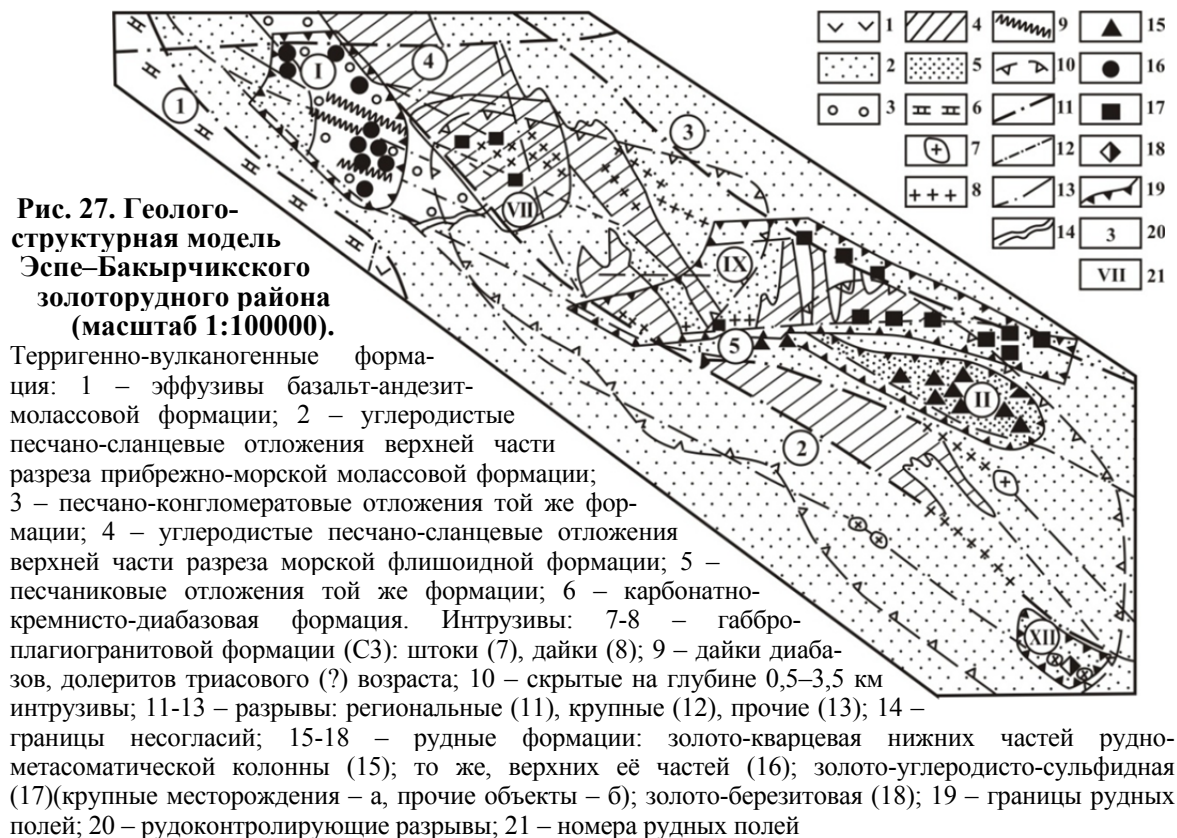


Рис. 26. Отображение на карте прогноза участков первой (А) и второй (Б) очереди перспективных на поиски месторождений золота (по М.С. Рафаиловичу).

1 – известные рудопроявления; 2 – прогнозируемые рудопроявления; 3 – эндогенные ореолы золота; 4 – прогнозируемые типы оруденения; 5 – прогнозные ресурсы категории P_2 .



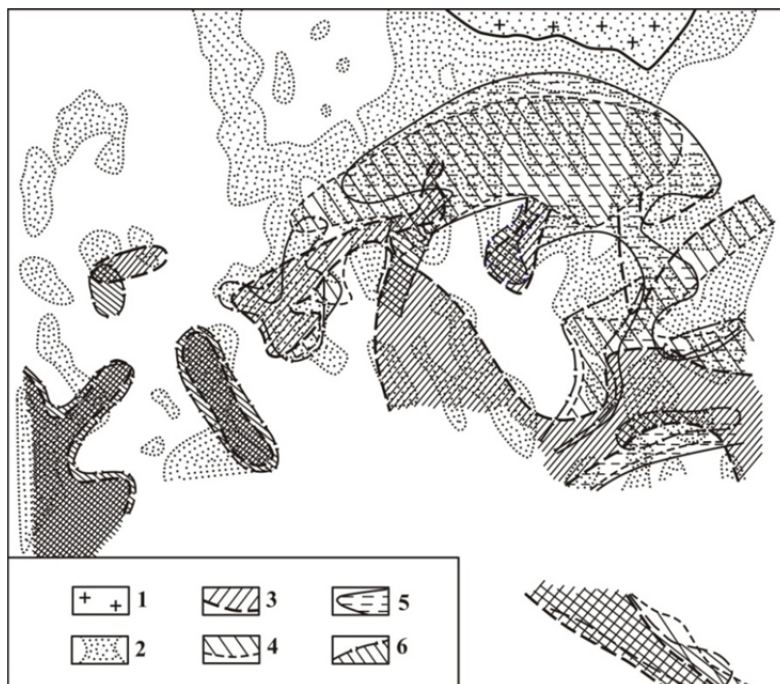


Рис. 30. Рудно-метасоматическая зональность Саралинского золоторудного поля (масштаб 1:50000).

1 – диориты, гранодиориты, плагиограниты Араратского массива, ϵ_3-0 ; 2-6 – поля: 2 – штоков, даек габбро-диабазов, габбро-долеритов ϵ_1 ; 3 – метасоматических альбититов, альбитизированных габбро-диабазов; 4 – калишпатизированных габбро-диабазов; 5 – кварц-золото-сульфидных жил с околорудными березитами-лиственитами; 6 – кварц-альбит-шеелитовых нижнерудных жил

Рудные объекты выносятся на карту (или комплект карт) по их формационной и геолого-промышленной принадлежности (рис. 7, 12–25). На картах условными знаками отображаются:

- типы объектов – медные, молибденовые, свинцово-цинковые, золотые, драгоценных и поделочных камней и т.д.;
- морфология залежей – пластовые, жильные, штокверковые, вкрапленные, штоковидные, трубчатые и т.п.;
- качество руд – богатые, рядовые, бедные, убогие;
- текстуры руд – сплошные, вкрапленные, штокверковые и др.;
- возраст оруденения – протерозойский, палеозойский, третичный ...;
- эродированность рудоносных структур – неэродированные, мало-, средне-, слабо- или существенно эродированные;
- размеры объектов – уникальные, крупные, средние, мелкие;
- степень изученности и освоенности объекта.

Рекомендуется информацию по рудной нагрузке передавать формой знака (тип объекта), его размерами (масштаб) и внутренним наполнением (вид полезного ископаемого, его металличность и т.п.), цветом знака (возраст оруденения) и различными штриховыми дополнениями к его контуру. Площади развития минерализации разных этапов, эпох (при циклическом развитии регионов) оконтуриваются границами разных знаков и цветов.

Минерагеническое районирование территорий основано на структурно-формационной систематике и анализе плотности распределения рудных объектов в геологических структурах. Выполняется по методу скользящего окна со стандартной ячейкой 4×4 см в масштабе карт комплекта, где вынесена рудная нагрузка. За основу определения плотности рудных объектов принято их количество в стандартной ячейке без учета разделения объектов по рангам. На основе структурно-формационных данных и количественных обчислений определяются границы минера-

генических провинций или зон, рудных поясов, рудных районов, рудных узлов и их содержание – золоторудные, железорудные, меднорудные. На схеме оконтуриваются минерагенические пояса сквозного типа. Они проявляются независимо от структурно-формационных зон и пересекают складчатые структуры разного возраста. Такая схема генерализирует закономерности распределения рудных объектов на территории и используется при составлении карты прогноза (рис. 21, 26–31).

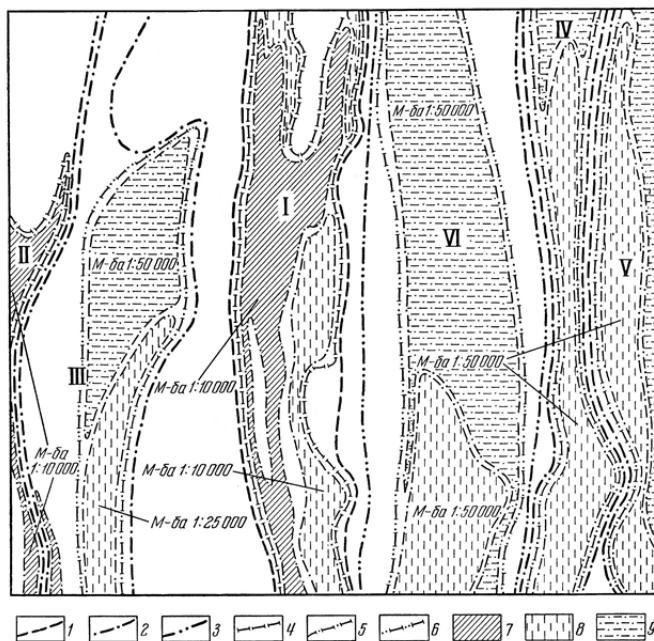


Рис. 31. Макет прогнозной карты-накладки к карте золотоносности (масштаб 1:200000)

(по П.Л. Смольяникову, 1966 г.)

I–VI структурно-металлогенические зоны. Контурные структурно-металлогенических зон и золоторудных районов: 1 – перспективные; 2 – менее перспективные; 3 – слабо перспективные. Контурные золоторудных площадей: 4 – первой очереди освоения; 5 – второй очереди освоения; 6 – третьей очереди освоения. Прогнозные площади поисковых работ: 7 – первая очередь поисковых работ; 8 – вторая очередь поисковых работ; 9 – третья очередь поисковых работ. Масштаб поисковых работ дан на карте

Карта размещения оруденения составляется на тектонической основе и отражает взаимосвязи минерагенических процессов с определенными типами геологических структур региона и особенностями их развития (рис. 20–35). В минерагенический анализ вводятся результаты дистанционных и наземных геолого-геофизических, геологосъемочных исследований. В результате выделяются основные тектонические рудоконтролирующие элементы региона, и дается оценка их роли среди прогнозно-поисковых критериев. Например, глыбово-складчатые структуры типизируются по возрасту, характеру и особенностям развития: выступы фундамента или зачехленные срединные массивы раннего протерозоя, в разной степени переработанные складчатостью; приразломные прогибы, антиклинории шовного типа байкальского этапа; унаследованные эвгеосинклинальные прогибы, зеленокаменные и вулканические пояса, террейны, компенсационные грабены и прогибы, наложенные краевые и межгорные впадины тектономагматической активизации и т.п. В их пределах показываются структуры более высокого порядка, если позволяет масштаб карты (рис. 24, 30–35).

При анализе закономерностей размещения оруденения учитывается рудонасыщенность структур разных типов и рангов, показывается плотность рудных объектов на 100 км². Выделяются региональные рудоконтролирующие структуры сквозного типа. Разрывы разделяются на региональные и локальные. Специальными количественными обсчетами дается оценка минерагенической специализации региональных разломов, оценивается ширина влияния их на продуктивность площадей. Определяется значимость разрывов как рудоподводящих, рудораспределяющих, ру-

доконтролирующих, рудолокализирующих структур. Результаты анализа отражаются в условных обозначениях, выносятся на графику и используются при составлении карт прогнозно-поисковых критериев, признаков и карт прогноза (рис. 31).

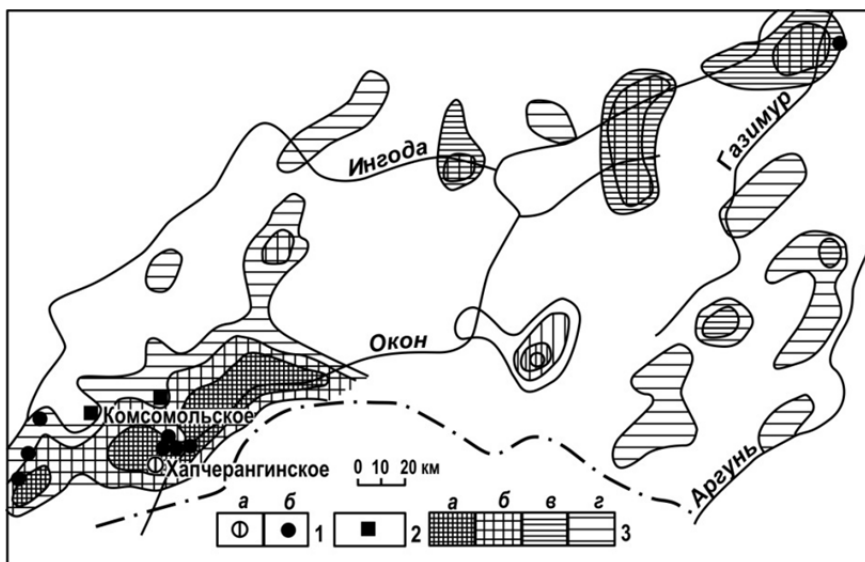
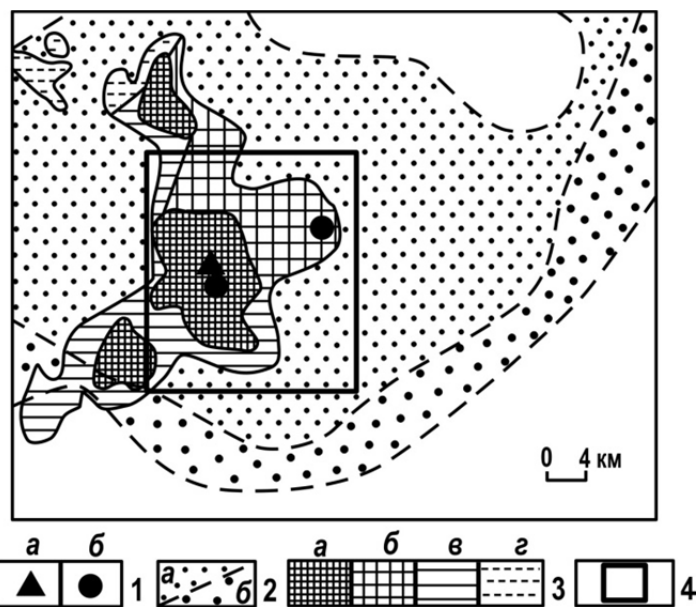


Рис. 32. Выделение рудных районов и зон в Юго-Восточном Забайкалье по данным космофотоснимков в масштабе 1:1000000 (по Ю.Н. Серокурову):

1 – известные месторождения касситерит-силикатно-сульфидной формации (а) и выделяемые (б) по данным КС, 2 – месторождения олова в альбитизированных и калишпатизированных гранитах, 3 – прогнозные площади с очень высокой (а), высокой (б), средней (в) и низкой (г) перспективностью

Рис. 33. Районирование площадей перспективных для локализации оловорудных узлов в районе Хапчеранга-Хаверга по данным космофотоснимков в масштабе 1: 200000 (по Ю.Н. Серокурову):

1 – известные месторождения касситерит-силикатно-сульфидной формации (а) и формации альбитизированных и калишпатизированных гранитов (б); 2 – прогнозные участки с очень высокой (а) и высокой (б) перспективностью, выделенные на общей стадии (см. рис. 32); 3 – прогнозные участки с очень высокой (а), высокой (б), средней (в) и низкой (г) перспективностью; 4 – площади, для которой выполнено прогнозирование более крупного масштаба



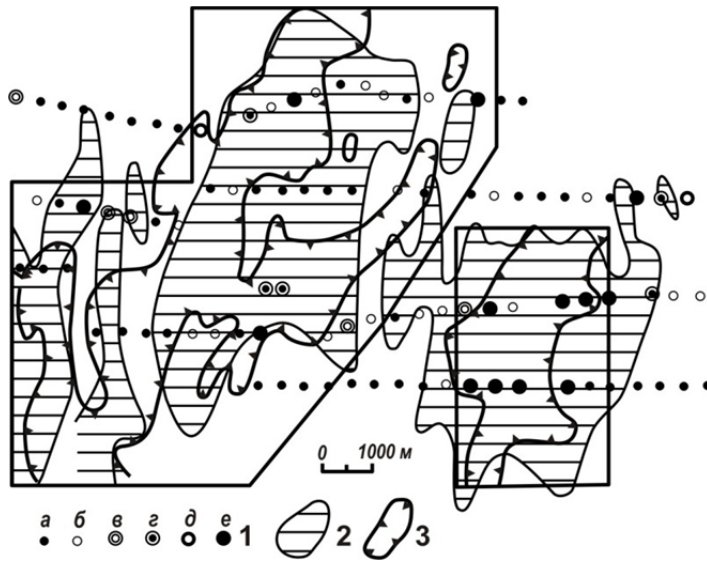


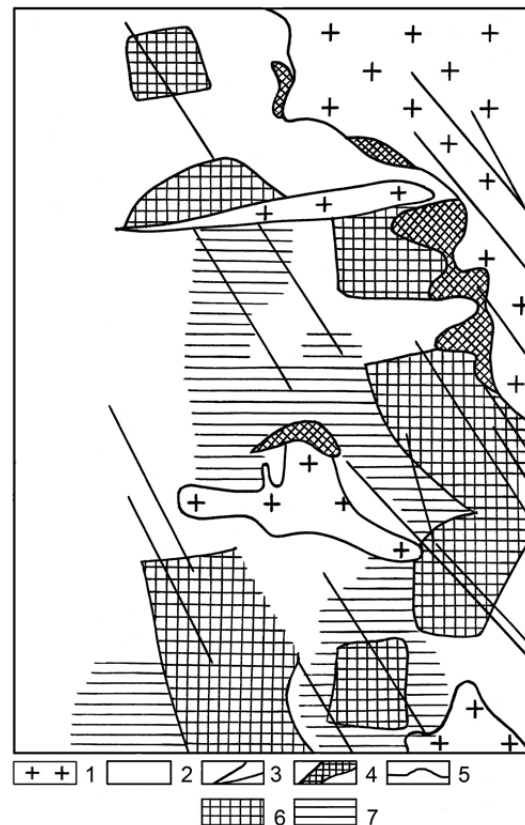
Рис. 34. Пример выделения погребенных рудных полей по комплексу геохимических и геофизических данных.

1 – содержания ртути в подпочвенных пробах (а – фоновые, б-е – аномальные нулевого, первого, второго, третьего и четвертого порядков); 2 – площадные аномалии метода ВП, отвечающие полям развития околорудной пиритизации; 3 – площадные геохимические аномалии мультипликативного показателя Pb-Zn в породах фундамента по результатам глубокой литогеохимии.

Карта размещения оруденения в геологических формациях представляет собой структурно-формационную основу, содержащую всю рудную нагрузку (рис. 12, 21, 24, 36). В отличие от карты размещения оруденения на ней рудоносные формации разделены до уровня формационных типов (на мелкомасштабных картах) и до конкретных формаций и типовых породных ассоциаций. Отражается их возраст и вещественный состав (на среднемасштабных картах). Особое внимание уделяется выявлению и анализу рудовмещающих, рудоносных, рудогенерирующих и рудообразующих формаций. Они определяют геологические предпосылки прогноза и поисков промышленного оруденения. Рудогенерирующие интрузивные формации, составляющие их комплексы, интрузивы, при возможности масштаба карты расчленяются на ассоциации, фазы и фации. По геолого-геофизическим данным отражаются условия залегания и морфологии интрузивных тел, углы падения их контактов, уровни эрозионного среза, типовые процессы и продукты контактового и послескарнового автометасоматоза.

Рис. 35. Прогнозная карта на скрытое скарново-редкометальное оруденение Узбекистана по данным исследования термолюминесценции мраморов
(по А.А. Бабаджанову, 1984):

1 – диориты, граниты биотитовые; 2 – контактовые мраморы, ороговикованные слюдястые сланцы; 3 – разрывные нарушения; 4 – скарново-рудные тела; 5 – околоскарново измененные гранитоиды; 6 – наиболее перспективные участки на скрытое редкометальное оруденение; 7 – перспективные участки



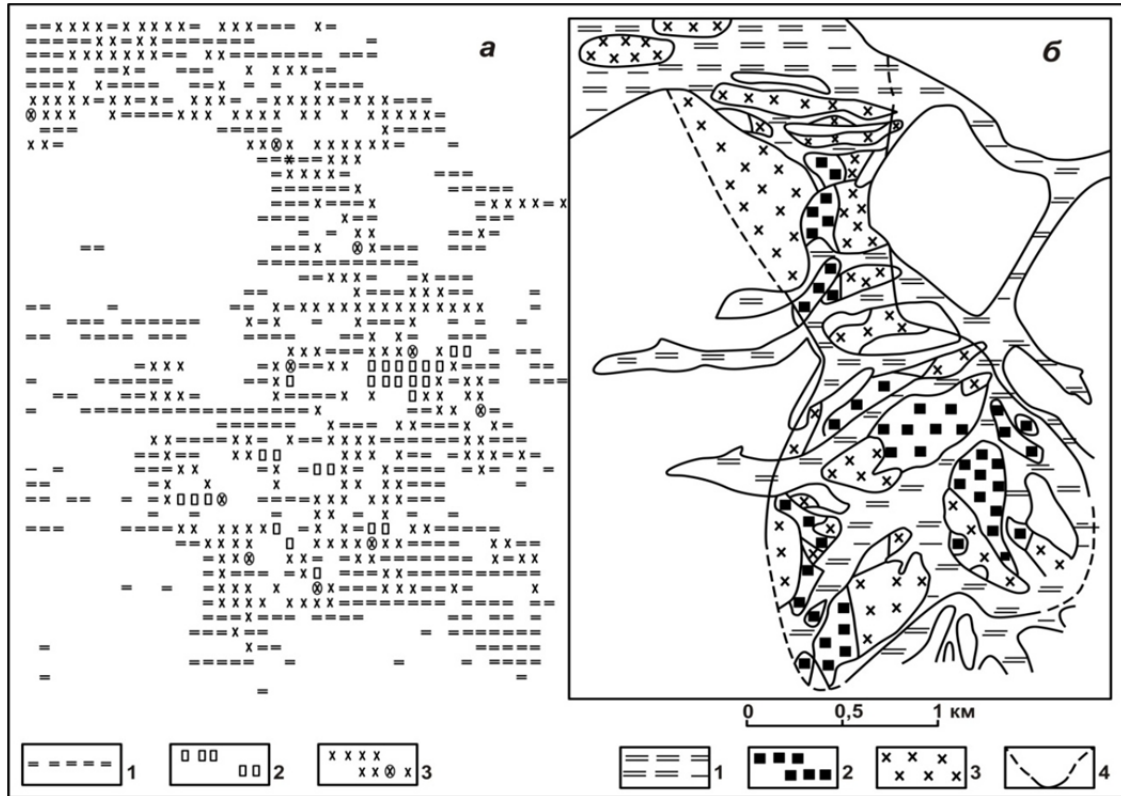


Рис. 36. Прогнозирование медновкрапленных руд Саиндак в Пакистане по космофотосъемочным исследованиям (по Р.Г. Шмидту и др.).

а – цифровая классификационная карта: 1 – аллювиальные отложения, 2 – осветленные породы, 3 – зоны окисленных руд в форме цветных показателей; *б* – полевая прогнозная карта: 1 – рыхлые отложения, 2 – гидротермальные метасоматиты с пиритом, 3 – кварцевые диориты сульфидизированные, 4 – границы зон пиритизации

Для осадочных типов месторождений геологические формации оказываются рудогенерирующими. Именно образование самих осадочных формаций и приводит к образованию месторождений. Тогда особое внимание уделяется типизации формаций с выделением угленосных, оолитовых железорудных и марганцевых, бокситовых, глауконито-фосфоритовых, карбонатных, черносланцевых, эвапоритовых соленосных, малассоидных медносульфидных, нефтегазоносных платформенного, окраинно-континентального, рифтогенного типов формаций, субформаций; их фациям (рис. 21).

Количественными характеристиками рудоносности служат плотность рудопроявлений на 100 км² площади формации. Рудогенерирующая способность формаций в различных структурно-формационных или структурно-фациальных зонах по региону отражается в специальных таблицах, на колонках и графиках. Эти данные используются при выработке предпосылок прогнозирования и при составлении карт поисковых критериев и признаков.

Карта геофизических полей отражает закономерности размещения оруденения в магнитных, гравитационных, электрических, радиометрических аномальных полях (рис. 5–7, 22, 37–40). Анализ размещения руд в геофизических полях выявляет постоянную приуроченность максимального числа рудных объектов разного ранга, включая промышленные месторождения, к зонам контрастных или отрицатель-

ных градиентов интенсивности магнитного, электрического, гравитационного полей. Рудоперспективные объекты чаще тяготеют к областям устойчивых умеренных положительных значений их напряженности, к зонам контрастной смены градиентов силы тяжести, магнитных полей, к переходным зонам разной напряженности ореолов. Локальные положительные и отрицательные аномалии гравитационного, магнитного полей чаще отвечают конкретным ультраосновным, габброидным, гранитоидным, щелочным, нередко невскрытым эрозией, интрузивам, вулканическим постройкам, приподнятым бокам разуплотненных пород фундамента. Кроме того, геофизические данные используются для уточнения тектонической и формационной карт, особенно результаты интерпретации локальных аномалий гравитационного и магнитного полей, для выявления глубинного строения минерагенических провинций, зон, рудных поясов, рудных узлов, рудных полей.

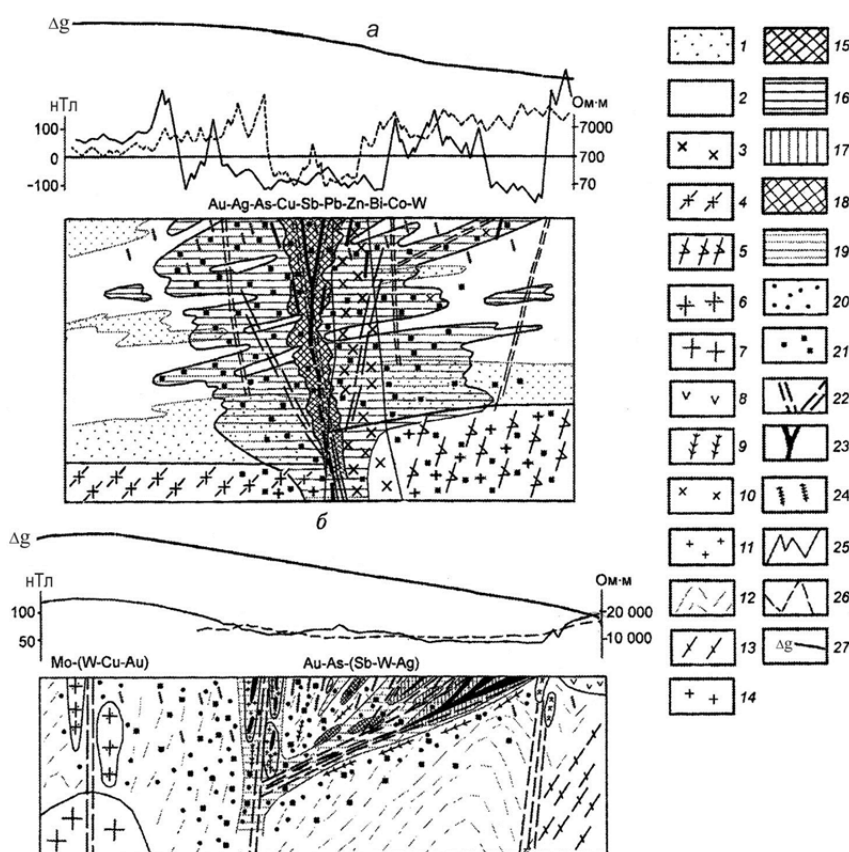


Рис. 37. Типовые геолого-геофизические модели месторождений Нони (а) и Маломыр (б) (по В.А. Степанову и др.):

вмещающие породы месторождения Нони: 1 – песчаники, алевролиты, J-K1, 2 – диоритовые порфиры, K1, 3 – диориты, габбро-диориты, K1, 4 – гранит-метаморфический фундамент, AR-PR, 5 – фундамент основного состава, AR-PR; вмещающие породы месторождения Маломыр: 6 – гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры субвулканические, K1, 7 – граниты, K1, 8 – андезиты покровные, K1, 9 – дайки диоритовых порфиров, гранодиорит-порфиров, K1; 10 – диоритовые порфиры субвулканические, K1, 11 – граниты, PZ2, 12 – осадочно-метаморфические толщи, PZ3, 13 – метаморфизованные вулканы основного состава, PZ3; 14 – гранитизация; гидротермально-метасоматические изменения месторождения Нони: 15 – березит-аргиллизитовые, 16 – березит-пропилитовые; гидротермально-метасоматические изменения месторождения Маломыр: 17 – кварц-адуляровые, 18 – кварц-альбитовые, 19 – березитизация, 20 – окварцевание; 21 – рассеянная сульфидизация; 22 – разрывные нарушения; 23 – золото-сульфидные рудные тела; 24 – кварцевые жилы; 25 – характерный уровень магнитного поля; 26 – уровень кажущегося сопротивления; 27 – характер изменения гравитационного поля

Карта размещения оруденения в геохимических полях составляется при среднемасштабных минерагенических исследованиях (масштаб 1:200000–1:100000) (рис. 8, 11–13, 23, 25, 34). Такая карта позволяет определять связь и корреляцию геохимических полей, ореолов, потоков рассеяния элементов с конкретными источниками рудной минерализации. Подтверждается правомерность и необходимость использования геохимической информации для общей характеристики региональных минерагенических единиц разных рангов и для решения прогнозно-поисковых задач путем выявления поисковых признаков промышленного оруденения, особенно в слабо изученных и закрытых районах. На основе геохимических полей, потоков рассеяния, ореолов, вынесенных на карту рудной нагрузки, выясняется металлогеническая специализация и общая продуктивность конкретных минерагенических зон, рудных районов, рудных узлов (рис. 8, 12, 34, 38).

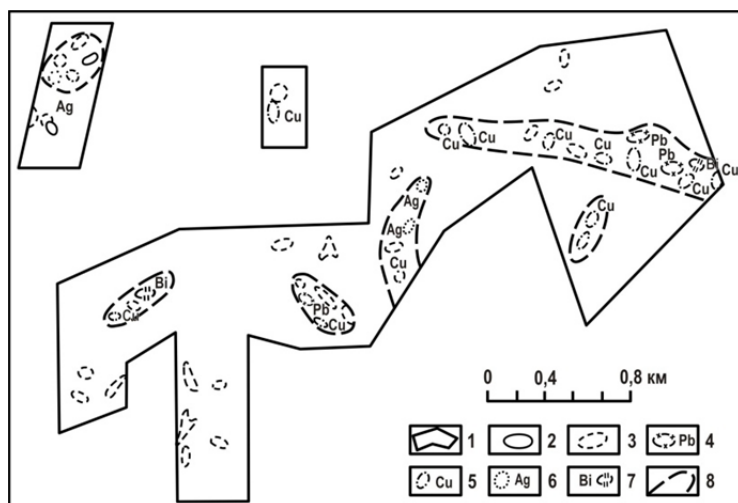


Рис. 38: Расположение в пределах изученной площади Архон-Холстинского рудного поля перспективных участков (по результатам анализа электромагнитной фракции литохимических проб)
(по Б.Н. Ачеву и др.):

1 – площадь литохимической съемки масштаба 1:10 000, дубликаты проб которой использованы для апробации методики усиления аномалий; 2-7 – границы литохимических аномалий в грациях, кратных фоновым значениям признака:

2 – мультипликативного показателя $Pb \times Zn \times Cu$, превышающего 1000; 3 – мультипликативного показателя $Pb \times Zn \times Cu$, от 100 до 1000, 4 – свинца в значениях от 100 до 1000, 5 – меди в значениях от 100 до 1000, 6 – серебра в значениях от 100 до 1000, 7 – висмута в значениях от 100 до 1000; 8 – границы выделенных перспективных участков

Карта поисковых критериев и признаков оруденения составляется при среднемасштабных (1:200000–1:100000) минерагенических работах. Она включает итоговую информацию по закономерностям размещения разнотипного оруденения; отражает известные рудные объекты и факты, указывающие на возможность обнаружения промышленных месторождений в конкретных структурах. На такой карте суммируются все геологические предпосылки поисков промышленных руд и выявленные в регионе признаки. Карта является основным документом для составления карты прогноза. На карте поисковых критериев и признаков отражаются благоприятные для локализации оруденения геологические формации, складчатые, террейновые, рифтогенно-глыбовые, грабеновые структуры и составляющие их структурные элементы (рис. 39).

Разрывные структуры разделяются на рудоподводящие, рудораспределяющие, рудоконтролирующие, рудолокализирующие. Для рудогенерирующих, рудообразующих, рудовмещающих интрузий и вулканических комплексов на карте показываются

ся их специфические особенности – строение, фазы, вещественный состав, уровни эрозионного среза, условия залегания. Среди поисковых признаков отражаются все известные рудные объекты, рудные узлы, рудные поля, ореолы и зоны гидротермально-метасоматических преобразований рудовмещающих пород, геофизические, геохимические и иные признаки оруденения. На основе анализа и количественного расчета поисковых критериев и признаков на карте выделяются перспективные минерагенические зоны, рудные районы и составляется карта-накладка прогноза.

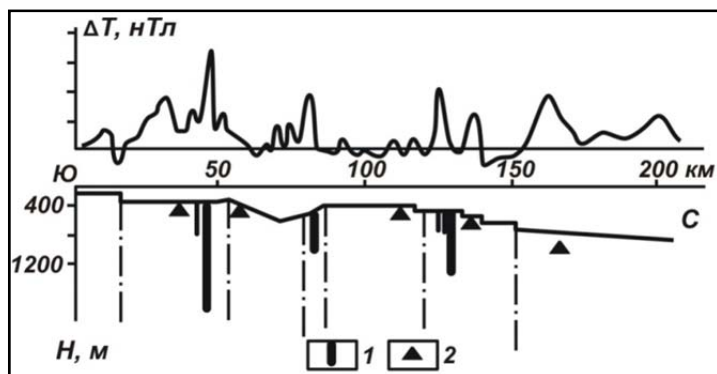


Рис 39. Продольный разрез Глубоченской железорудной зоны

(по А.Н. Авдонину и др., 1987).

Магнетитовые месторождения с установленными (1) и неясными (2) размерами

Карта прогноза состав-

ляется в виде накладки на ком-

плект минерагенической карты территории (рис. 31–40). Она представляет собой синтез всех имеющихся по оруденению материалов. Содержание ее определяется целевым заданием на минерагеническое исследование региона. На ней выделяются площади с разной степенью перспективности на те или иные виды минерального сырья, на формационные и промышленные типы месторождений. Намечается набор и пути реализации прогнозно-поискового комплекса. Карта прогноза должна дать представление, какие виды минерального сырья, типы месторождений возможны на изучаемой территории. На каких участках в первую очередь следует искать промышленно интересные руды. В каком количестве составят прогнозные ресурсы на прогнозируемых объектах. Какими методами целесообразно проводить их поиски.

При выделении перспективных площадей и структур анализируются преимущественно сводные данные – схема минерагенического районирования территории и карта прогнозно-поисковых критериев и признаков оруденения. При крупномасштабных работах анализируют карты масштаба 1:200000 (1:100000), а при мелко-масштабных – только минерагеническая карта 1:1000000 или 1:500000 масштаба. Построение прогнозной накладки базируется на модели объекта прогноза того или иного ранга. При анализе карты поисковых критериев, признаков используется метод геометрического районирования территории. Он учитывает влияние факторов (критериев, признаков) по ячейке размером 2×2 см (или 4×4 см) в масштабе карты. Все геологические предпосылки прогнозирования, внесенные на карту поисковых критериев и признаков, оцениваются в условных единицах по трех-пяти бальной шкале методом экспертных оценок (участвуют 5–6 экспертов) или расчетами меры их значимости по программам ЭВМ. Результаты суммируются по ячейкам с перемещением квадрата по методу скользящего окна, и цифра указывается в центре фигуры. По полученным значениям путем интерполяции строятся изолинии значимости анализируемых критериев и признаков оруденения для получения наглядного представления об интенсивности их проявления на всей изученной территории. Форма и размеры выделяемых таким способом перспективных площадей корректи-

руются на структурно-формационной основе. Устраняются погрешности метода квадратного окна и сопоставляются с эталонными моделями минерагенических единиц соответствующего ранга.

Выделенные площади дифференцируются по степени рудоперспективности с отражением типов, размера ожидаемых месторождений и очередности проведения дальнейших геологоразведочных работ (рис. 21, 24, 33, 40). При определении видов, объемов последующих прогнозно-поисковых исследований, их очередность проведения учитываются состояние и степень геологической изученности и опоискованности перспективных площадей и структур. В общем случае возможность выявляемых рудных объектов считается выше на площадях с низкой степенью их изученности. По наиболее перспективным площадям дается количественная оценка ресурсов категории P_3 . Наиболее важными проблемами мелкомасштабных прогнозных исследований являются выделение новых рудных районов и переоценка известных рудных объектов при изменении требований к минеральному сырью и комплексности его использования, а также прогнозирование новых типов месторождений.

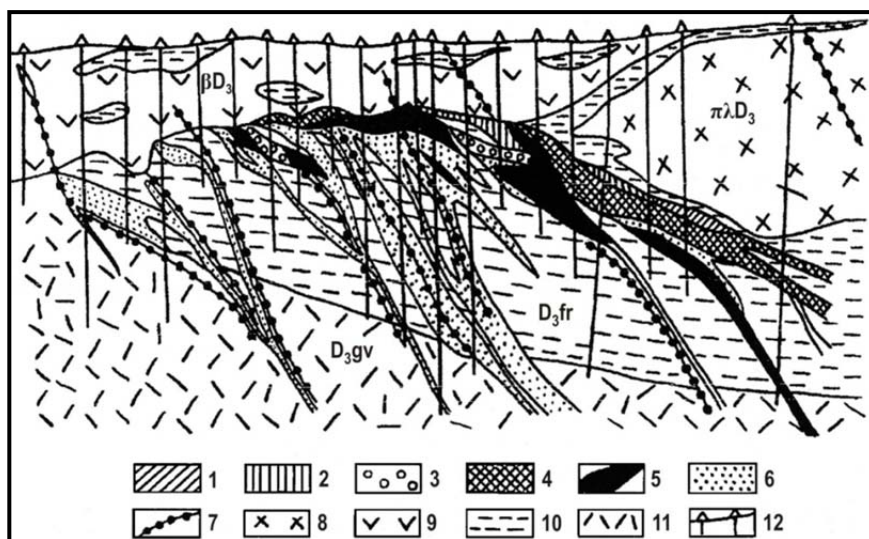


Рис. 40. Размещение колчеданно-полиметаллических руд в «критическом горизонте» осадочных пород под экраном диабазовых порфиров на Камышинском месторождении (Рудный Алтай) (по В.С. Кузбному, Э.С. Пономареву):

1-6 – руды: 1 – полиметаллические гнездово-вкрапленные, 2 – то же сплошные, 3 – колчеданные, 4 – медно-цинковые, 5 – медноколчеданные сплошные, 6 – то же гнездово-вкрапленные; 7 – диабазовые порфиры (дайки) верхнего палеозоя; 8-11 – породы верхнего-среднего девона: 8 – кварцевые порфиры субвулканические, 9 – базальтовые порфиры, диабазы, диабазовые порфиры покровной и субвулканической фаций, 10 – породы «критического горизонта» – кремнистые, глинисто-кремнистые, известково-глинистые, углисто-глинистые алевролиты и аргиллиты с линзами песчаников, 11 – лавы, брекчиевые лавы кварцевых порфиров, кварцевых кератофиров; 12 – скважины

В специальной геологической литературе освещаются и другие методические подходы к региональному прогнозированию. Разработаны автоматизированные системы регионального прогнозирования «АСОИ-Геология», «Регион-Ос» и другие. Рекомендована компьютеризованная методика прогнозирования рудоносности территорий [М.И. Пахомов и др., 1990 г.; Б.И. Чумаченко, В.В. Марченко, Н.В. Межеловский и др., 1990 г.].

1.8. Геологические основы крупномасштабного и детального прогноза

1.8.1. Цели и задачи прогнозирования

Крупномасштабные (1:50000–1:25000) прогноз-но-минерагенические и детальные (1:10000...1:2000) прогноз-но-поисковые исследования проводятся в рудных узлах, рудных полях и месторождениях. Выполняются геологосъемочные, поисковые и оценочные работы. Они завершают исследования каждой стадии общего геолого-разведочного процесса, систематически анализируют обнаруженные перспективные на оруденение площади и структуры потенциальных рудных узлов, рудных полей, участки прогнозируемых месторождений. Исследования являются источником фактического материала по полезным ископаемым, закономерностям их размещения и условиям локализации оруденения в рудных полях. Полученные новые данные уточняют направление дальнейших поисковых или оценочных работ и определяют рациональную методику их выполнения.

Целью крупномасштабного и детального прогноза являются выделение и качественно-количественная оценка промышленной значимости рудоперспективных площадей, структур, геофизических и геохимических аномалий в рангах рудного узла, рудного поля, участка месторождения. Прогнозные ресурсы подсчитываются по категориям P_2 и P_1 . Задачами прогнозных исследований являются:

- 1) сбор, обобщение и анализ получаемых материалов при геологических, геофизических, геохимических работах; выявление закономерностей размещения и условий формирования месторождений, оценка основных рудоконтролирующих и рудолокализирующих факторов; отработка модели объекта прогноза на основе комплекса поисковых критериев и признаков промышленно значимого оруденения;
- 2) выявление перспективных участков и структур, аномалий (в системе их иерархии), количественная оценка прогнозных ресурсов и их геолого-экономической значимости в условиях конкретного района;
- 3) определение пути и рационального комплекса методов, объемов дальнейших поисково-разведочных работ, необходимых для реализации выполненного прогноза.

Методологические основы крупномасштабного и детального прогноза рудности территорий взаимосвязаны с принципами регионального минерагенического анализа складчатых структур, осадочных бассейнов. При прогнозировании учитываются такие данные:

- 1) объекты крупномасштабного и детального прогноза являются частями рудных районов, минерагенических зон, поэтому к ним применимы принципы историко-формационного анализа с последовательным приближением работ на основе сравнительного изучения и сопоставления с эталонными объектами соответствующего ранга;
- 2) рудные узлы и рудные поля, месторождения, рудные тела как объекты геологического прогнозирования, представляют собой участки земной коры с предельным развитием унаследованных минерагенических процессов, свойственных рудным районам;
- 3) крупномасштабное и детальное прогнозирование даже в хорошо изученных районах, геологических структурах должно предсказывать новые типы рудных объек-

тов при учете возможностей в экономике минерального сырья вовлечения в освоение более бедных руд с крупными ресурсами и запасами металлов;

- 4) разработка специальных методических приемов выполнения задач по подсчету ресурсов с изменением масштабов прогнозирования.

В отличие от мелко- и среднемасштабного минерагенического прогнозирования на этом этапе в минерагенический анализ вовлекаются детальные материалы, иные по своему объему, содержанию, глубине проработки геологических предпосылок отвечающих участкам возможного оруденения. Например, при разработке стратиграфо-литологических прогнозно-поисковых критериев появляется возможность перехода от оценки рудоносности территории в масштабе формации к отдельным рудоносным свитам, толщам, горизонтам пород путем выявления рудоносных литолого-стратиграфических уровней, горизонтов, пачек, геологических экранов оруденения. В магматической группе критериев может осуществляться переход от рудоносных формаций в целом к конкретным интрузивным комплексам, отдельным интрузивам, вулканоплутоническим телам, их фазам и фациям. В структурно-тектонической группе критериев прогноза возможен переход от региональных глыбово-складчатых зон, террейнов, глубинных разломов к отдельным складкам, вулканотектоническим структурам, разрывам более высокого порядка. Реализуется возможность широкого использования для прогнозных целей продуктов контактового и гидротермального метасоматизма, геофизических, шлиховых, геохимических данных с детальным анализом рудоносных локальных структур в их объемном выражении [Прогнозирование..., 2008].

Глубина прогнозирования определяется типом сырья, экономической особенностью района, техническими возможностями оценочных и разведочных работ выявляемых рудных объектов. В районах, где имеются горнорудные предприятия, глубина прогнозирования составляет 1–2 км, а в новых районах – 300–500 м. Выполненные прогнозы должны вовлекаться в дальнейшие более детальные исследования в период первых лет, а в промышленное освоение – в течение 7–10 лет. Целью таких исследований является выявление и оценка перспектив изучаемого района в отношении промышленно интересных проявлений полезных ископаемых, возможных в такой геологической обстановке. Для реализации этой цели решаются следующие задачи:

- построение моделей месторождений, предполагаемых на исследуемой территории;
- выявление и анализ закономерностей размещения рудных объектов;
- определение минерагенических факторов;
- минерагеническое районирование территории;
- разработка критериев прогноза оруденения;
- выявление и оценка рудоперспективных площадей и объектов;
- оценка масштабов возможного оруденения;
- оценка качества полезного ископаемого;
- оценка горно-геологических условий будущей эксплуатации месторождений.

В состав работ входят геологические (ГС-50, ГПД-50, ГГК-50), гидрогеологические, эколого-геологические съемки, опережающие, сопровождающие дистанционные и наземные геофизические, геохимические, геоморфологические, прогнозно-минерагенические и другие исследования. Производится изучение участков распространения полезных ископаемых. Устанавливается природа выявленных геофизических и геохимических аномалий. Выделяются новые или уточняются параметры из-

вестных рудоносных площадей и перспективных участков с подсчетом прогнозных ресурсов категории P_2 . Окончательными документами геологического изучения недр масштаба 1:50000 являются комплект обязательных и специальных геологических карт, комплексная оценка перспектив изученной территории с выделением рудных полей.

Локальное прогнозирование осуществляется на поисковой, оценочной и разведочной стадиях общего геологоразведочного процесса. Целью его является выделение потенциального рудного поля или месторождения на поисковой стадии; месторождения – на оценочной стадии; отдельных рудных участков, рудных тел, рудных столбов и их оконтуривание на флангах и глубоких горизонтах – на разведочных стадиях. Подсчитанные прогнозныe ресурсы должны отвечать категории P_1 . Для количественной оценки ресурсов этой категории используют геологически обоснованные представления о размерах, условиях залегания рудных зон, тел. Для этого используются результаты детальных геологических, геофизических, геохимических исследований поверхностными выработками и структурно-поисковыми скважинами [Прогнозирование..., 2008].

Все методы локального прогнозирования разделяются на исследовательские и технологические. Исследовательские методы разрабатываются сотрудниками научных и производственных организаций. Задачами исследовательских методов являются:

- 1) прогнозирование конкретных рудных объектов в дополнение к технологическим методам;
- 2) разработка новых методов, приемов и перевод их в технологические;
- 3) изучение строения рудных полей, месторождений, рудных тел;
- 4) создание и совершенствование моделей рудных объектов на основе их типизации и рудноформационного анализа;
- 5) выяснение роли вмещающей среды, магматизма, метаморфизма, метасоматизма, гипергенеза, геолого-структурных, литологических обстановок рудообразования;
- 6) определение геохимических, физико-химических параметров рудообразующих систем и процессов.

Технологические методы объединяют те, которые обладают предпосылками для быстрого изучения и освоения минерального сырья. Задачами локального прогнозирования являются изучение геологических, структурных и вещественных показателей оруденения [Критерии прогнозной оценки..., 1986]. Приведем главные свойства объектов, положенные в основу геологического прогнозирования.

1. Зональность рудоносных метасоматитов.
2. Минералого-геохимическая зональность:
 - а) зональность размещения рудных и нерудных минералов;
 - б) последовательность образования и закономерности размещения минеральных ассоциаций.
3. Пространственная изменчивость кристалломорфологии, физических и химических свойств минералов:
 - а) зональность распределения микропримесей в минералах;
 - б) вариации химического состава минералов;
 - в) кристалломорфология минералов;
 - г) термо-ЭДС, микротвердость, плотность, термолюминесценция, декрепитация минералов.

4. Вариации условий рудообразования:
 - а) термобарогеохимических параметров расплавов, растворов;
 - б) условий образований минералов переменного состава.
5. Зональность эндогенных геохимических ореолов:
 - а) состав и строение геохимических аномалий;
 - б) зональное распределение коэффициентов накопления (K_H) элементов в рудах и околорудных метасоматитах;
- в) аддитивные и мультипликативные показатели, парные отношения элементов.
6. Соотношение прогнозных ресурсов и запасов в рудных телах с продуктивностью вторичных геохимических ореолов.
7. Латеральная зональность петрофизических свойств и газонасыщенность пород.
8. Структурные факторы локализации рудного вещества:
 - а) динамические напряжения и пути движения минералообразующих растворов;
 - б) морфоструктурные особенности рудных полей, месторождений, рудных тел, рудных столбов.
9. Литология рудовмещающих пород:
 - а) литолого-фациальный контроль оруденения;
 - б) морфология экранирующих горизонтов.
10. Фации метаморфизма:
 - а) вещественный состав метаморфитов;
 - б) устойчивость пород к динамическим нагрузкам.
11. Морфология и местоположение рудогенерирующих интрузий.
12. Геофизические поля и аномалии.
13. Комплексная интерпретация данных по сумме признаков – количественный прогноз оруденения.

1.8.2. Прогнозирование при глубинном геологическом картировании (ГГК)

Глубинное геологическое картирование выполняется в масштабах 1:50000–1:25000 на территориях с погребенным складчатым фундаментом, или при наличии продуктивной толщи внутри покровного чехла, или с глубокозалегающими перспективными горизонтами в рудных зонах и полях. ГГК обычно специализировано на определенный круг полезных ископаемых. Главной задачей его является выявление участков, перспективных на определенный тип полезного ископаемого, а также определение вероятности нахождения промышленного месторождения на каждом из таких участков до намеченной глубины [П.А. Литвин и др., 1988 г.]. После проведения ГГК по каждому из выявленных перспективных участков разрабатываются рекомендации для дальнейших поисков и устанавливается очередность опоскования. Учитывается полученная оценка вероятности обнаружения месторождения. В практике ГГК возникает необходимость выборочной оценки выявленных в процессе ГГК или ранее известных проявлений полезных ископаемых, или заверки геофизических и геохимических аномалий, предположительно связанных с рудными телами. При этом дается ориентировочная оценка количества и качества полезного ископаемого. Прогнозные ресурсы подсчитываются по категориям P_2 и P_1 . Высокая стоимость поисковых работ (за счет бурения колонковых скважин) на закрытых территориях и, следовательно, высокая цена ошибки прогноза обуславливает высокие требования к точности и достоверности прогноза при ГГК.

Особенностями количественных методов прогнозирования при ГГК являются:

- необходимость оценки вероятности нахождения месторождения вместо обычной ранжировки обследованных участков по степени их относительной перспективности;
- необходимость использования алгоритмов, позволяющих осуществить автоматизированный прогноз при переменном наборе признаков.

В задачу прогнозных работ ГГК входит изучение поисковых критериев и признаков на оруденение промышленного типа. Многообразие районов двух-трехъярусного строения, различающихся условиями ведения прогнозно-поисковых работ, не позволяет рекомендовать единую универсальную методику. Но для достаточно эффективного прогнозирования можно сформулировать следующие общие принципы.

1. На этапе опережающих исследований в комплекс методов надо включать такие геофизические, геохимические исследования, которые позволяют достаточно эффективно локализовать рудоперспективные участки в конкретных геологических обстановках. Задачей работ является выявление и оконтуривание возможных рудных зон и рудных полей.

2. На втором этапе ГГК (полевые геофизические и буровые работы) на выявленных перспективных площадях более детально, чем на остальной территории, картируются элементы геологического строения, имеющие прогнозное значение. Для этого выполняются дополнительные геолого-геофизические, геохимические и буровые работы. Такой комплекс исследований позволяет решать следующие задачи: уточнить перспективы нахождения руд на площадях, выделенных на этапе опережающих исследований; на площадях, перспективность которых подтверждена; выделить конкретные участки с предполагаемыми месторождениями.

3. Предварительная оценка выявляемых проявлений полезных ископаемых, проверка геофизических, геохимических аномалий, предположительно связанных с телами полезных ископаемых. Оцениваемый объект вскрывается одной скважиной или одним буровым профилем, что позволяет оценить качество полезного ископаемого. Размеры и форма объекта определяются по геофизическим данным. Иногда при ГГК выполняются глубинные литогеохимические исследования по керну колонковых скважин.

Ключевым вопросом, от которого зависит эффективность прогнозно-поисковых работ при ГГК, является набор рациональных методов исследований на всех этапах ГГК. Для решения этой задачи на этапе опережающих работ необходимо разработать прогнозные критерии для рудных зон, рудных полей, месторождений, которые использовали бы эти критерии наиболее эффективно. Анализ и выбор прогнозных критериев существенно облегчается, когда на стадии проектирования ГГК геолог располагает статистическими моделями искомого объекта – статистической моделью рудного поля. Это способствует правильному выбору комплекса методов исследований на опережающем этапе и статистической моделью месторождения для выбора комплекса методов на втором этапе ГГК [Моделирование..., 2008].

1.9. Геофизические методы при крупномасштабных прогнозно-минерагенических исследованиях

Геофизические исследования значительно увеличивают глубинность и достоверность крупномасштабного прогноза. При изучении закрытых и полужакрытых территорий выявляемые физические поля позволяют интерпретировать рудоносные

геологические образования под рыхлыми отложениями, покровами базальтов. Физические поля отражают особенности геологического строения площадей не только в плоскости древнего рельефа, но и на глубоких горизонтах. Разрабатываются способы разделения полей, создаваемых рудными объектами, расположенными на различных глубинах. Это позволяет решать задачу трехмерного картирования без привлечения больших объемов буровых работ.

С помощью изотопных, палеомагнитных методов удается определять абсолютный возраст горных пород. Эти сведения необходимы при стратиграфической корреляции «немых» толщ. Гамма-спектрометрия, фотонейтронный, нейтронно-активационный и другие ядерно-физические методы, магнитометрия, методы вызванной поляризации, естественного электрического поля отмечают аномальные концентрации полезных минералов и элементов в горных породах. Поэтому они используются для прямого прогноза и количественной оценки возможных объемов этих компонентов на исследованной территории. Весьма эффективными оказываются электрические методы длинного кабеля и вращающегося магнитного поля при изучении скрытых рудоконтролирующих разломов, зон вкрапленной сульфидной минерализации. Для изучения внутренней структуры сложнопостроенных и глубоко-метаморфизованных осадочно-вулканогенных толщ, интрузивов, контролирующих то или иное оруденение, успешно используются сейсмические методы. Гравиметровая съемка является одним из наиболее эффективных способов изучения глубинного строения территорий. Аэрогаммаспектрометрическая, спектрзональная съемки позволяют разделять интрузивные, метасоматические тела по составу, геохимической и метасоматической специализации. По спектрам U, Th, K, Ra удается выделять зоны и поля метасоматитов с урановой, редкометалльной, золото-серебряной минерализацией. Под спектрзональной аэрофотосъемкой понимается съемка, выполняемая на разных диапазонах спектра на многослойных цветных фотоматериалах, обладающих чувствительностью к различным зонам спектра и воспроизводящих изображение в условных цветах. Такие съемки способствуют выявлению на снимках дополнительных компонентов ландшафта. Они служат косвенными или даже прямыми признаками рудных объектов. Хорошо выделяются элементы залегания и внутреннее строение рудоносных горизонтов, толщ. Нередко более достоверно проявляются элементы ориентировки скрытых рудных зон и тел.

Основу комплекса геофизических методов при минерагеническом прогнозировании рудных узлов, рудных полей составляют магнитные и гравиметровые съемки. В перспективных районах аэромагнитную съемку необходимо дополнять наземными магнитометрическими работами того же масштаба 1:50000–1:25000 или более крупного масштаба (рис. 12, 34, 37).

При решении отдельных задач количественного геологического прогнозирования широко используется геофизическая информация. При этом следует различать прогноз таких признаков проявления полезных ископаемых:

- наличие рудных полей, месторождений;
- их размеры;
- количество минерального сырья;
- горнотехнические условия прогнозируемого рудного объекта.

Прогноз наличия рудных объектов. Основным принципом решения этой задачи является использование метода аналогии с типовым рудным полем, месторождением. По аналогии свойств участка рудного поля дается перспективная оценка

изучаемой территории. Задача ставится в различных вариантах исполнения. Например, выделение перспективных рудных зон и прогноз плотности расположения точек продуктивной минерализации. В этом случае предметом прогноза являются рудоконтролирующие зоны, структуры, аномалии. Рудоконтролирующая роль структуры, горизонтов, интрузивов чаще выявляется не одним каким-то признаком физического поля, а совокупностью таких признаков. Тогда задача прогноза решается на основе комплексной интерпретации нескольких методов по принципу распознавания образов по программам ЭВМ.

Выделение рудоперспективных участков. Многие рудные объекты не удается обнаружить одним каким-то геофизическим методом. Тогда применяют комплекс методов. Они создают достаточно надежный банк физических данных для интерпретации и обоснования рудоперспективных площадей и участков. Также используются методы распознавания образов по программам ЭВМ.

Разбраковка выделенных перспективных участков. После их выделения они подвергаются более детальному обследованию. Например, Я.Ш. Филько [1967 г.] при прогнозировании и поисках медноколчеданных месторождений Южного Урала использовал анализ 86 признаков геолого-геофизической информации для разбраковки участков. Наиболее информативными оказались гравитационные ступени, локальные магнитные и гравитационные аномалии с определенной пространственной ориентировкой. Обучение по программе ЭВМ проводилось на 64 изученных участках, включающих месторождения и столько же безрудных площадей. Экзамен на 26 известных рудоносных участках привел к ошибочным выводам лишь в двух случаях, а 2 из 20 «пустых» площадей были оценены как перспективные. Тем самым качество распознавания рудоносных участков оказалось высоким.

Прогноз размеров месторождений. При прогнозировании используются косвенные геофизические признаки рудоносности участков:

- 1) степень проявления в геофизических полях разрывных структур, служивших каналами для транспорта рудообразующих расплавов и флюидов;
- 2) избирательное влияние на масштабы оруденения ориентировки рудопроводящих, рудоконтролирующих структур, устанавливаемых по геофизическим данным;
- 3) масштабы оруденения определяются по степени нарушенности рудолокализирующих структур. Степень нарушенности проявляется в сложности гравитационных аномалий, вызванных такими структурами; в осложнении магнитных аномалий; по результатам анализа сейсмических и электроразведочных наблюдений;
- 4) оценка по геофизическим данным степени проявления различных геологических процессов, определяющих рудообразование – магматических, контактово-метасоматических, гидротермально-метасоматических, элизионных. От интенсивности проявления таких процессов зависят размеры сформированных рудных тел, рудных зон.

Прогноз качества минерального сырья геофизическими методами успешно решается при прогнозировании объектов олова, флюорита, угля. Например, для определения зольности углей используют электрические методы; при изучении типового петрографического разреза угленосных толщ – метод селективного рассеяния гамма-излучения. Для определения содержаний касситерита в породах применяются ядерно-гамма-резонансный и рентгено-радиометрический методы исследований.

Прогноз горнотехнических условий. Для оценки глубины залегания прогнозируемых зон, рудоносных горизонтов, интрузивных и метасоматических тел, состава и свойств рудовмещающих пород, их водоносности успешно используют сейсмические, электрические, магнитные и другие методы.

1.10. Крупномасштабные и детальные карты прогноза, методы их составления

Крупномасштабное и детальное прогнозирование завершается составлением карт прогноза масштабов 1:50000 (1:25000) и 1:10000...1:2000. Исходными материалами для них являются:

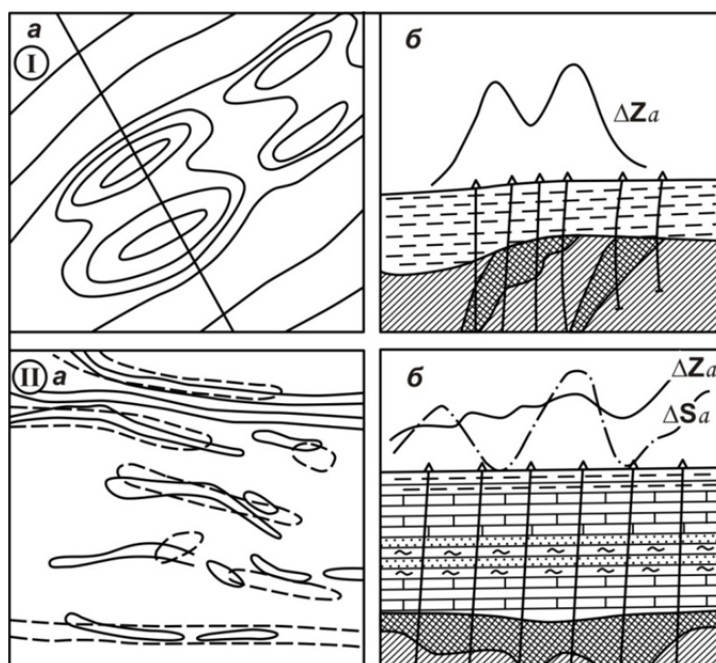
- карты геологической, геофизической, поисковой изученности территории,
- карты дешифрирования аэрофотоснимков,
- структурно-тектоническая карта и литолого-стратиграфические колонки, разрезы,
- шлиховая карта,
- карта вторичных геохимических аномалий,
- гравиметрическая, магнитная, электрометрическая карты,
- карта полезных ископаемых,
- карты-схемы глубинных срезов продуктивных структур и горизонтов.

Составляются схемы палеотектонических, палеофациальных, палеовулканических реконструкций. Обобщаются результаты гидрохимических, биохимических, атмосферических, термобарогеохимических исследований. Уточняется модель объекта прогноза и все результаты отображаются на карте предпосылок, признаков оруденения и на карте прогноза (см. рис. 24, 41).

Рис. 41. Геофизические аномалии над скрытыми рудными телами

(по В.В.Аристову, 1975).

I – месторождения, создающие отчетливые магнитные аномалии: а – план изодинам магнитной съемки, б – разрез магнетитового месторождения, погребенного под платформенным чехлом рыхлых отложений; над месторождением отчетливые магнитные аномалии. II – месторождения, создающие комплексные геофизические аномалии: а – план гравитационных (пунктирные линии) и магнитных (сплошные линии) аномалий железных руд КМА, б – разрез месторождения, погребенного в докембрийском фундаменте под палеозойским платформенным чехлом



1.10.1. Методы составления крупномасштабных и детальных карт прогноза

Карты геологической, геофизической, поисковой изученности территории включают перечень работ, выполненных в районе в соответствующих масштабах. Их составляют в рамках номенклатурных листов для каждого вида работ и сопровождают каталогом использованных материалов (рис. 42).

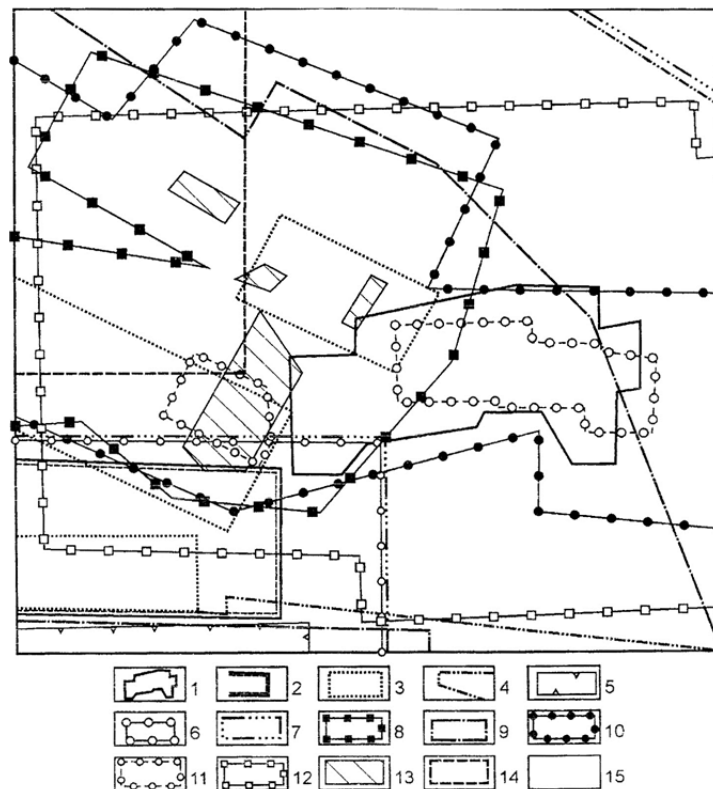


Рис. 42. Карта геологической изученности района Кызыл-Таштыгского месторождения (по О.И. Ореховой):

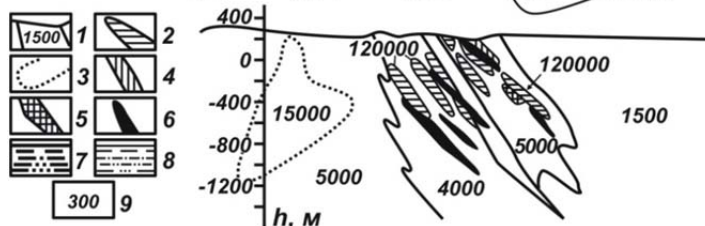
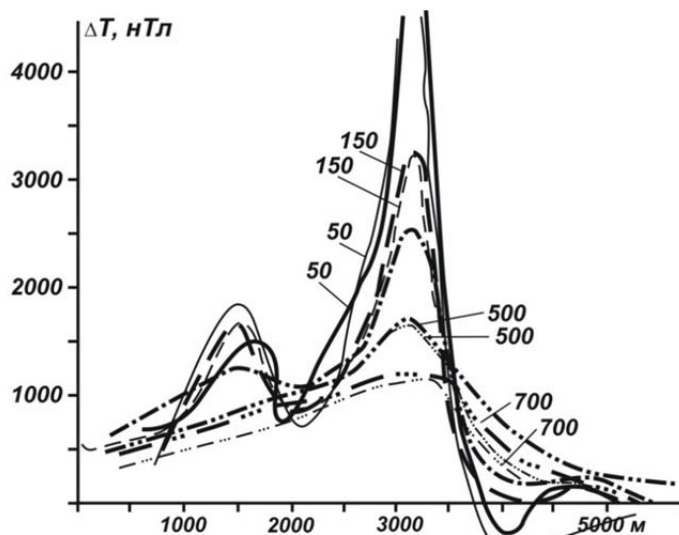
1-4 – геологоразведочные работы и детальные поиски комплексом методов (1 – разведочные и поисково-оценочные работы на Кызыл-Таштыгском месторождении в масштабе 1:2000, В.И. Берман, 1956–1964 г.; 2 – поисковые и поисково-оценочные работы на участке южном в масштабе 1:2000 Н.С. Бухаров, 1965 г., А.Д. Топорков, 1972–1983 г.; 3 – участки поисковых работ масштаба 1:10000 методами геологической съемки, электроразведки ЕП, геохимического опробования по вторичным ореолам и вскрытия аномалий горными выработками, П.Е. Егорченков, 1969 г.; 4 – геологическая съемка масштаба 1:10000 в комплексе с магниторазведкой и геохимическим опробованием рыхлых отложений по сети 100×20 м, А.Д. Топорков, 1973 г.); 5-7 – геохимические поиски (5 – опробование рыхлых отложений по сети 100×20 м, В.А. Габеев, 1967 г., М.А. Жуков, 1969 г.; 6 – опробование рыхлых отложений по сети 100×40 м, А.Ю. Топорков, 1987 г.; 7 – опробование рыхлых отложений по сети 250×50 м, А.Д. Топорков, 1987 г.); 8-15 – геофизические поиски (8 – электроразведка методом ЕП по сети 50×10 м; 9 – электроразведка методом ЕП по сети 100×20 м, 200×20 м, В.А. Голев, З.А.Кунда, 1967 г., В.А. Подругин, М.П. Зюзин, 1967 г.; 10 – электроразведка методом комбинированного электропрофилирования по сети 100×20 м, И.А. Головин, 1959 г.; 11 – электроразведка методом заряда масштаба 1:2000 и 1:5000, И.В. Головин, 1959 г.; 12 – гравиметровая съемка по сети 250×50 м, П.Е. Егорченков, М.П. Зюзин, 1959 г.; 13 – электроразведка методом индукции масштаба 1:2000, И.А. Головин, 1959 г.; 14 – магниторазведка по сети 500×100 м, Н.С.Бухаров, 1987 г., М.П.Зюзин, Ю.Г. Иванов, 1977 г.; 15 – аэромагнитная и гравиметрическая съемка всей площади в масштабе 1:25000, Южная геофизическая экспедиция, 1987 г.)

Карты дешифрирования аэрофотоснимков отражают многообразие скульптурных форм местности, выявленных дистанционными исследованиями. Выявляются новые структуры, незамеченные при наземных геолого-геофизических работах, но играющих важную роль в размещении оруденения (рис. 36, 43). К таким структурам относятся тектономагматические, кольцевые вулканоплутонические, субвулканические, кальдеры, жерла вулканов, экструзивы, скрытые разломы, зоны трещиноватости пород, зоны метасоматоза, гранитно-гнейсовые купола, ударно-метеоритные образования.

Рис. 43. Глубинное строение Естюнинского месторождения по моделированию материалов аэромагнитных съемок

(по А.Н.Авдоницу и др., 1987):

1 – значение магнитной восприимчивости α , $n(4\pi) \cdot 10^{-6}$ СИ; 2 – контур рудных тел по математическому моделированию; 3 – контур магнитных пород; 4-6 – рудные тела: 4 – установленные до 1970 г.; 5 – выявленные в 1983 г.; 7-8 – кривые ΔT : 7 – наблюдаемые, 8 – вычисленные от модели месторождения; 9 – значения высот измерений поля, м



Аэрогаммаспектрометрическая съемка позволяет оконтуривать аномалии и зоны щелочного метасоматоза с возможной золото-редкометалльной минерализацией. Аэромагнитные и гравитационные аномалии могут указывать на крупнейшие магнетит-гематитовые месторождения в железистых кварцитах. Кроме поискового назначения дистанционные методы дают материал для составления структурно-минерогенической основы прогнозирования.

Структурно-геологическая карта составляется на основе структурно-тектонических исследований в регионе. На ней показываются стратиграфические подразделения в соответствии с достигнутой детальностью расчленения – ярус, свита, подсвита, толща, горизонт с петрографо-литологическим их наполнением. Складчатые структуры отображаются стратоизолиниями с указанием элементов залегания толщ, пластов, простираения и склонения осей складок (рис. 44, 45). Отражаются разрывные структуры, их типы и морфологические особенности. Разломы разделяются по масштабу (1–4 порядков), возрасту (отражается время заложения и подновления), по характеру образованных структурных блоков и их роли в рудогенезе. Показываются морфологические особенности магматитов, сопровождающих контактовых метаморфитов, метасоматитов, размещение месторождений и рудопроявлений. Выделяются интрузивные комплексы, фазы главные и дополнительные, жильные, фации пород, унифицированные на основе количественно-минералогической и петрохимической классификаций. Карта должна отражать по-

ложение оруденения в геологическом разрезе, связи с магматизмом, метасоматизмом, размещение в тектонических структурах, в том числе в вулканоплутонических, террейновых (рис. 45). Такая карта позволяет разрабатывать геологические предпосылки и признаки промышленной рудоносности в районе.

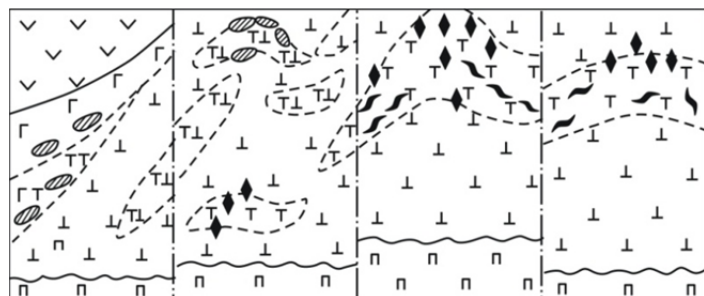
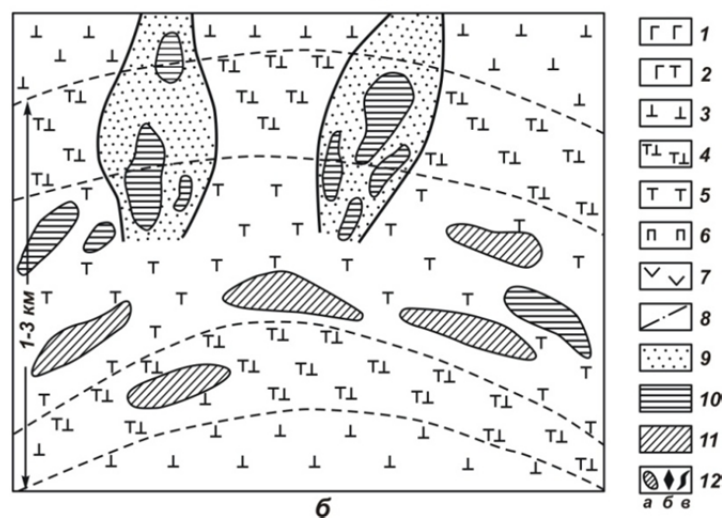


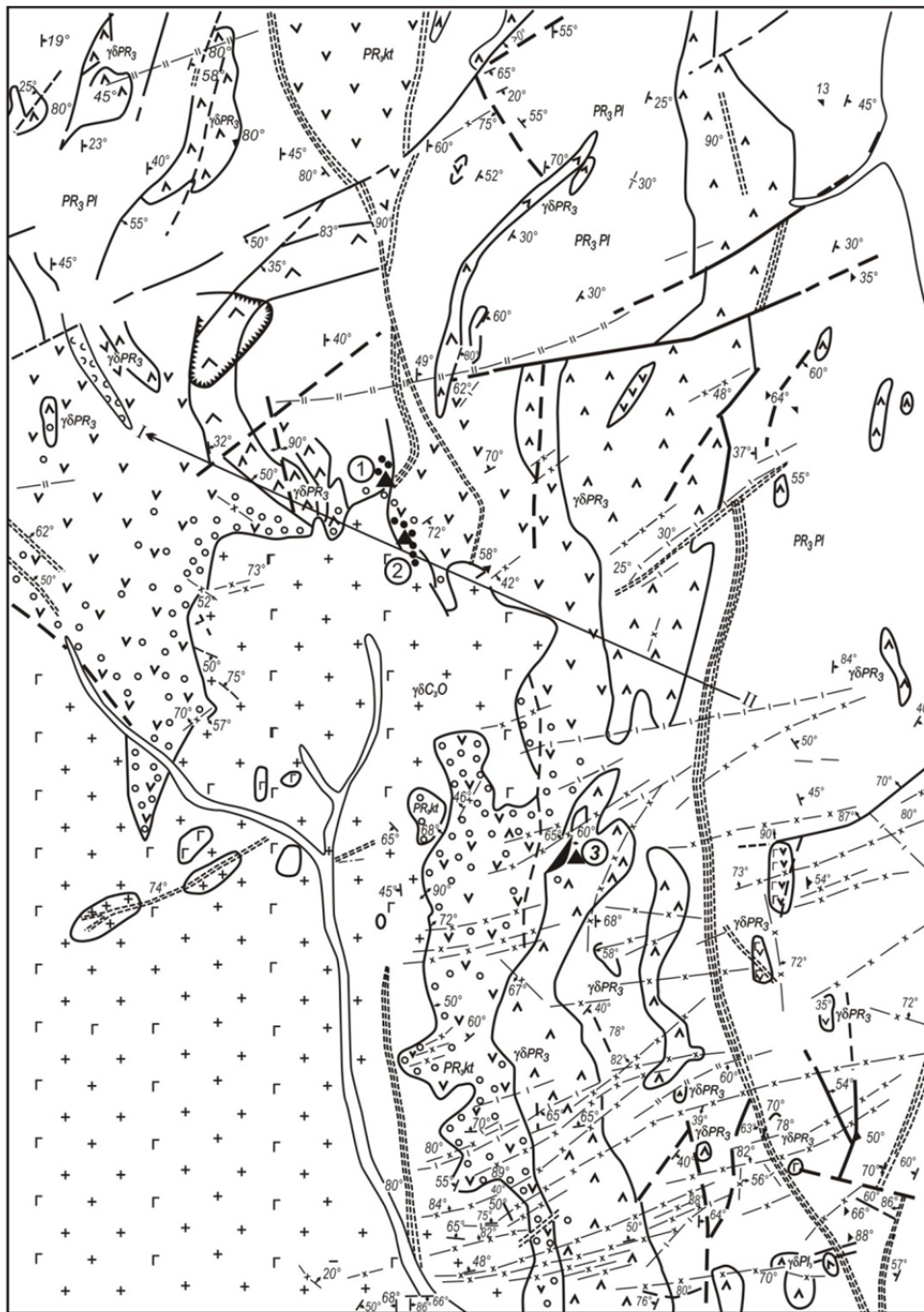
Рис. 44. Геологоструктурные модели рудного района (а) и рудного поля (б) кемпирсайского типа (Комплексные..., 1986).

1 – троктолиты, габбро; 2 – перемежаемость аподунитовых серпентинитов, верлитов, пироксенитов; 3 – апогарцбургитовые серпентиниты; 4 – перемежаемость аподунитовых и апогарцбургитовых серпентинитов; 5 – аподунитовые серпентиниты; 6 – несерпентинизированные ультрабазиты; 7 – вмещающие вулканогенно-осадочные породы; 8 – разрывы с интенсивной серпентинизацией; 9 – околорудные серпентиниты; 10 – сплошные и густовкрапленные руды; 11 – средне- и убоговкрапленные руды; 12 – хромитовые руды: а – стратиформные низкохромитистые хромититы; секущие (б) и стратиформные (в) высокохромитистые руды

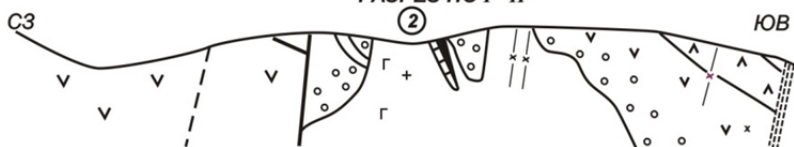


Шлиховая карта отражает результаты минералогического анализа шлиховых проб. На ней выделяются аномальные зоны и площади распространения повышенных содержаний полезных минералов в рыхлых отложениях. Она отражает общую минерагению в регионе.

Геохимические карты. На геологическую основу выносятся вторичные литохимические ореолы, потоки рассеяния, первичные литохимические аномалии, данные гидрохимических, биохимических, атмосферических исследований и вся рудная нагрузка. Отражаются металлы и сопутствующие элементы ожидаемого оруденения. Тем самым создается теоретическая основа для анализа геологической позиции аномальных участков и выявления взаимосвязей их с рудоносными структурами. Определяются природа конкретных аномалий и их потенциальные возможности в отношении промышленного оруденения. Интенсивные комплексные минералогическо-геохимические аномалии обычно оконтуривают участки месторождений и проявлений. Менее интенсивные, но широкие аномалии совмещаются с границами рудных полей и зон гидротермального метасоматоза с продуктивной минерализацией. Ореолы сопутствующих элементов позволяют судить об уровнях эрозионного среза рудных полей и месторождений (рис. 23, 46–48).



РАЗРЕЗ ПО I - II



- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|--|
| 1 | PR ₃ PI | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | |
| 2 | | 13 | | 14 | | 15 | | 16 | | 17 | | 18 | | 19 | | 20 | | 21 | | 22 | |

Рис. 45. Схема размещения дайковых и контактово-метасоматических образований в приконтактовом ореоле нижнепалеозойской гранитоидной интрузии (Солгонский массив) Кузнецкого Алатау (Коммунарское рудное поле)

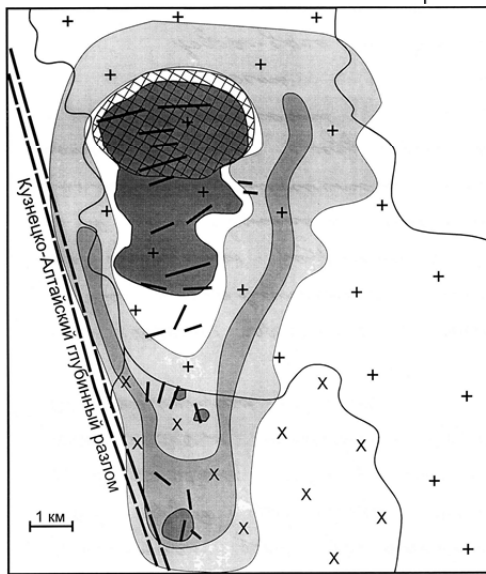
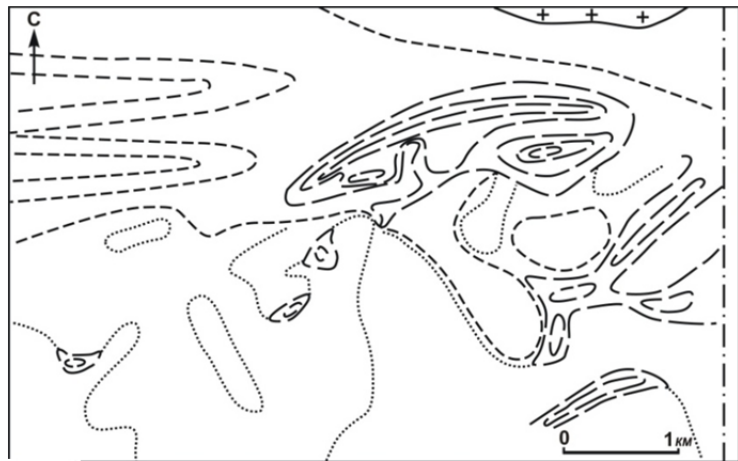
(по А. Ф. Коробейникову, Л. Г. Осипову).

1 – верхний протерозой, полуденная свита, PR₃p1; 2 – диабазы, порфириты; аподиабазовые альбит-хлоритовые сланцы; 3 – литокластические туфы основных эффузивов; 4 – габбро-диабазы, габбро-диориты силловых тел, PR₃; 5 – дайки габбро-порфиритов; 6 – диориты, габбро-диориты, сиенито-диориты, гранодиориты Солгонского массива E₃-O; 7 – габбро, горнблендиты метасоматические, E₃-O; 8 – граниты нижнепалеозойского комплекса, E₃-O; 9 – дайки диоритов, диоритовых порфиритов, лампрофиров, E₃-O; 10 – дайки аплитов, пегматитов, кварцевых диоритовых порфиритов, ортофиров, E₃-O; 11 – зоны рассланцевания пород; 12 – зоны милонитизации и дробления пород; 13 – разрывы прослеженные и предполагаемые; 14 – геологические границы установленные и предполагаемые; 15 – элементы залегания пород; 16 – элементы рассланцевания пород; 17 – полосчатость магматических пород; 18 – план-параллельные текстуры пород; 19 – зоны ороговикованных пород; 20 – контактово-метасоматические породы (скарны известковые и послескарновые амфибол-карбонат-хлоритовые метасоматиты); 21 – скарново-магнетитовые линзы; 22 – золотоносные скарново-магнетитовые тела: 1 – Северная линза, 2 – Южная линза, 3 – Девятая линза

Рис. 46. Моноэлементные аномалии золота в Саралинском рудном поле

(по А. Ф. Коробейникову):

1 – углеродистые терригенно-вулканогенные толщи нижнего кембрия; 2 – гранитоиды Араратского массива E₃; 3 – разрывы; 4-6 – ореолы золота в коренных породах: 4 – 11-15 мг/т Au, 5 – 5-10 мг/т Au, 6 – до 3-5 мг/т Au



	Гранодиориты, тэналиты		Геохимические ассоциации в околорудных безеитах
	Амфиболитизированные диориты		V, Ti, Ba, Zr, Sr
	Основные золото-сульфидно-кварцевые жилы		Ni, Co, Cr, Mo
			Au, Cu, Zn, Pb, Ag
			Au, As, Sb

1 + 2 3 4 5 6

Рис. 47. Геохимическая зональность Центрального рудного поля

Геофизические карты составляются на основе геофизических съемок масштабов 1:50000 и 1:25000 и корректируются по результатам более детальных геофизических работ. Анализ гравиметрической и магнитометрической карт позволяет уточнить характеристики и строение магматических, метасоматических комплексов, выявить скрытые разломы и дайковые пояса, скрытые интрузивы, зоны гибридызма, контактового метасоматизма, проявления магматических масс на глубинных горизонтах, закономерности размещения рудных

объектов в геофизических полях (рис. 29, 49, 50). Такие карты используются при создании палеотектонических, палеофациальных, палеовулканических реконструкций и служат основой для составления карт глубинного строения и для выделения продуктивных горизонтов. Результаты интерпретации геофизических полей, аномалий, нанесенные на карту, используются для уточнения прогнозно-поисковых критериев и признаков.

Рис. 48. Модели геохимической зональности Центрального золоторудного поля, вертикальные разрезы
(по В.Г.Ворошилову):

1 – контур Центральнонинского гранитоидного массива; 2 – направления движения палеогидротермальных потоков; 3 – контур эндогенных геохимических ореолов: а – в кварц-полевошпатовых автометасоматитах; б – в березитах с кварц-арсенопирит-молибденит-шеелитовыми ранними жилами; в – в березитах с кварц-золотополисульфидными жилами

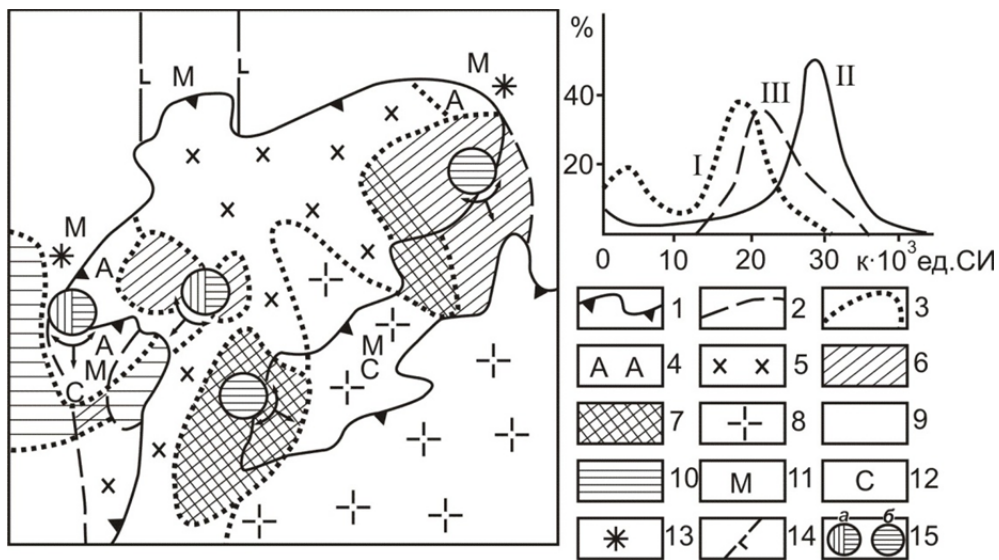
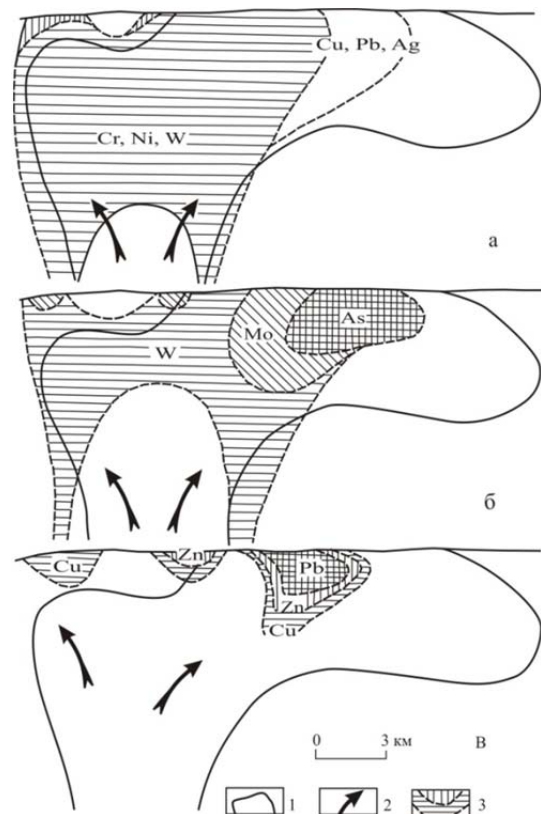


Рис. 49. Петрофизическая и рудная зональность Ольховского гранитоидного выступа:
1 – контакт гранитоидного выступа (стрелка по падению контакта); 2 – то же, под вмещающими породами; 3 – границы петрофизических зон; 4-8 – гранитоиды различной магнитности: 4 – пониженно-магнитные, 5 – умеренно-магнитные, 6 – повышенно-магнитные, 7 – аномально-магнитные, 8 – окварцованные пониженно-магнитные; 9 – известняки, мраморы, вулканогенно-осадочные породы; 10-13 – преобразования пород: 10 – графитизация, 11 – мраморизация, 12 – скарнирование, 13 – гематитизация; 14 – граница дайкового пояса; 15 – месторождения: а – контактово-метасоматические, б – кварцевожильные. II-III – вариационные кривые магнитной восприимчивости гранитоидов: I – биотитизированных, окварцованных подрудных, II – рудовмещающих; III – альбитизированных надрудных

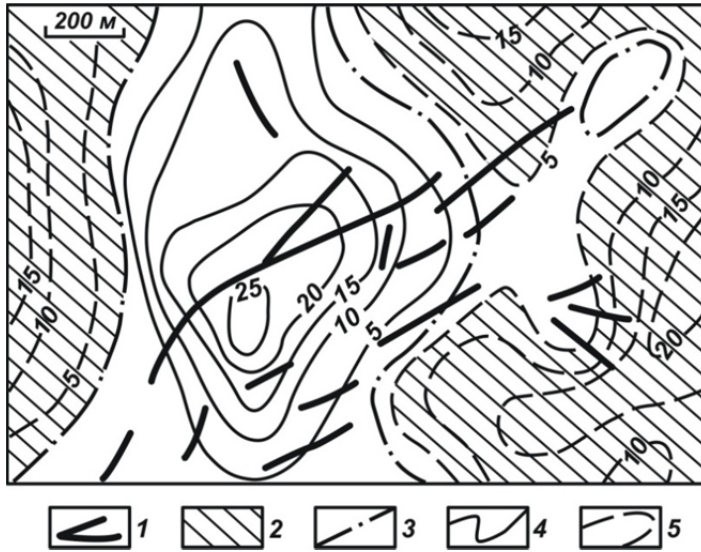


Рис. 50. Магнитогеологическая позиция жильного месторождения в гранодиоритовом массиве (по А.Ф.Коробейникову и др.):

1 – золото-кварцево-сульфидные жилы; 2 – калишпатовые и калишпат-эпидотовые метасоматиты по геолого-геофизическим данным; 3-5 – изолинии осредненного магнитного поля: 3 – нулевая, 4 – положительные, 5 – отрицательные

Такие карты используются при создании палеотектонических, палеофациальных, палеовулканических реконструкций и служат основой для составления карт глубинного строения и для выделения продуктивных горизонтов. Результаты интерпретации геофизических полей, аномалий, нанесенные на карту, используются для уточнения прогнозно-поисковых критериев и признаков.

Карты глубинных срезов продуктивных структур представляют серии схематических погоризонтных планов перспективной площади с шагом 100...300 м по вертикали. Основой таких срезов служат геолого-структурная карта, опорные скважины, опорные геолого-геофизические разрезы, гравиметрическая, магнитометрическая карты и результаты их геологической интерпретации. На эти срезы выносятся главные рудоносные структуры – рудоподводящие, рудолокализирующие разломы, интрузии, метаморфо-интрузивные купола, вулcano-тектонические, складчатые локальные формы, рудоносные горизонты, геологические экраны, зоны метасоматоза с рудной минерализацией. Совокупность карт-схем, опорных геолого-физических разрезов позволяет выявлять особенности геологического строения потенциально

рудоносной структуры как объемной фигуры и отражает перспективы ее глубоких горизонтов (рис. 34, 51, 52).

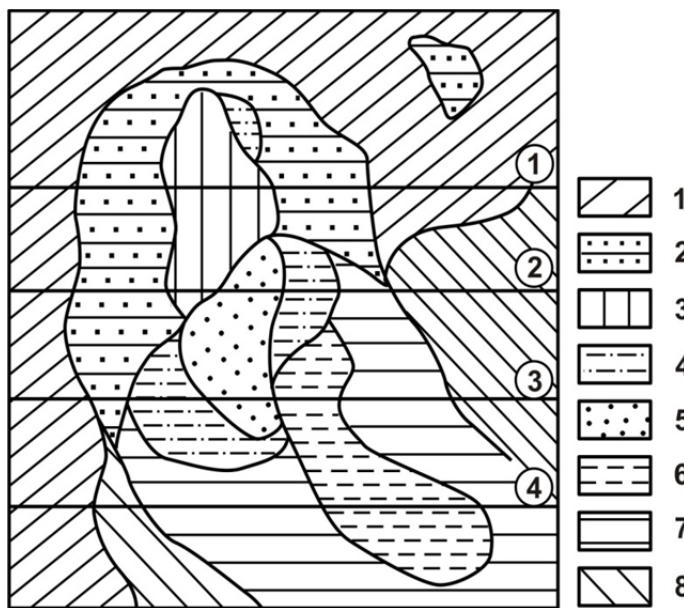


Рис. 51. Макет карты локального прогноза медноколчеданных месторождений (по А.И. Кривцову):

1-3 – надрудное пространство: 1 – периферийное (НРП), 2 – фланговое (НРФ), 3 – собственно надрудное (НРМ); 4-5 – рудное пространство: 4 – фланговое (РФ), 5 – рудное (РМ); 6-8 – подрудное пространство: 6 – собственно подрудное (ПРМ), 7 – (ПРФ); 8 – периферийное (ПРП). Цифры в кружках – линии, эквивалентные вариантам эрозионного среза

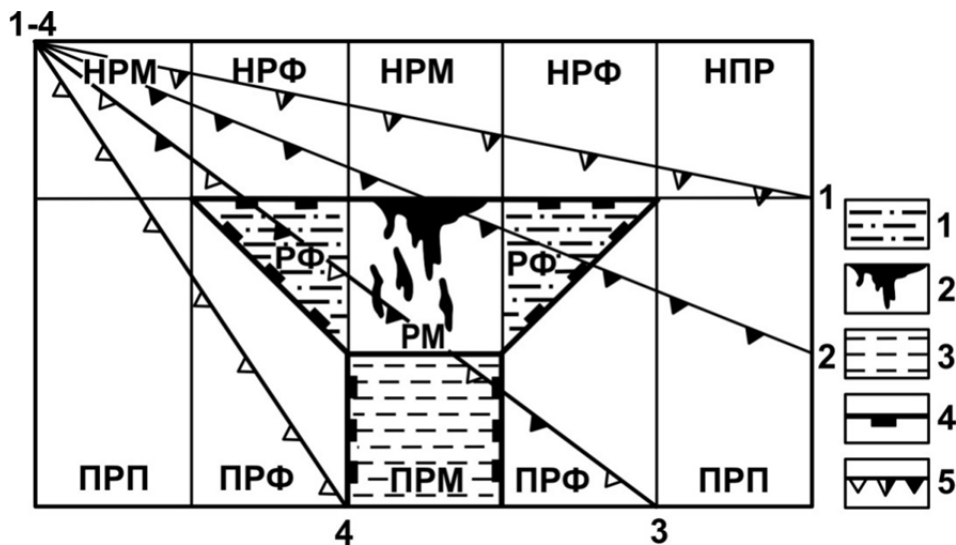


Рис. 52. Вертикальный разрез геометризованной модели месторождений колчеданного семейства (по А.И. Кривцову):

1 – фланговые метасоматические зоны; 2 – колчеданные залежи и метасоматиты редкого пространства; 3 – подрудные метасоматические зоны; 4 – границы распространения метасоматитов; 5 – варианты расположения эрозионного среза с различной перспективностью

Карта прогнозно-поисковых критериев и признаков содержит всю информацию по закономерностям размещения оруденения и отражает установленные рудоносные структуры, зоны и факты, указывающие на возможность обнаружения на территории новых рудных объектов – рудоносных участков, рудных месторождений в пределах ранее выявленных рудных полей. На картах рудных полей отмечаются конкретные рудные участки, рудные тела. На карте суммируются все геологические предпосылки прогноза и поисков промышленного оруденения – геофизические и геохимические аномалии, шлиховые ореолы, зоны метасоматитов и гидротермалитов. Для разработки шкалы значимости критериев и признаков прогнозирования необходимо анализ типовых месторождений района и разработка моделей объектов разных рангов. Модели реальных и прогнозируемых рудных объектов (рудных полей, месторождений) используют при оценке масштабов ожидаемого оруденения.

На карте выделяются три группы прогнозно-поисковых критериев. Отражается их значимость для локализации промышленного оруденения:

- 1) стратиграфические, литолого-фациальные – благоприятные для оруденения разрезы толщ, свит, фациальные типы отложений, рудоносные уровни и минерализованные горизонты пород, слои рудокласт, флюидизитов, геолого-геохимические экраны и т.п.;
- 2) структурно-тектонические показатели – рудоносные складчатые, вулканотектонические структуры, магмурудоподводящие, рудораспределяющие, рудоконцентрирующие, рудолокализирующие разломы, их оперяющие разрывы, зоны рассланцевания;
- 3) магматические факторы – рудоносные интрузивы, штоки, дайки, их приконтактные зоны, эксплозивно-гидротермальные брекчии, вулканоплутонические со-

оружения. Выделяются прямые и косвенные признаки. К первым относятся выходы, подсечения полезного ископаемого, первичные и вторичные ореолы и потоки рассеяния минералов, рудных элементов. Ко вторым – минералы-спутники оруденения, геофизические аномалии, гидротермально-измененные породы, археологические данные. Значимость всех геологических факторов оценивается в баллах на ЭВМ.

Такая карта служит основой для составления карты прогноза.

Карты крупномасштабного и локального прогноза содержат выделенные рудоперспективные площади и участки для постановки поисковых, оценочных работ первой, второй третьей очередности (рис. 26, 35, 36, 38).

Крупномасштабные карты прогноза составляются в масштабах 1:50000–1:25000. Выполненное прогнозирование обеспечивает выделение рудоперспективных площадей, соответствующих рангам рудного поля или рудного узла. Анализ прогнозно-поисковых критериев и признаков при учете моделей рудных объектов является основой построения карты прогноза. Как и в случае среднемасштабного прогнозирования, используется метод геометрического районирования рудных факторов на основе квадратной сетки. Размеры ячейки должны обеспечить надежность выделения минимального по размеру прогнозируемого рудного объекта и составляют 2×2 см или 4×4 см в масштабе карты. Для детализации сложных участков карты используется метод «скользящего окна». Градации шкалы обосновываются с помощью эталонных рудных объектов, известных в изучаемом регионе. Изолинии, оконтуривающие площадь эталонных объектов, служат границами перспективных площадей соответствующего ранга. Выделенные участки дифференцируются по рангу и степени перспективности с отражением типа и размера ожидаемых рудных полей, месторождений, очередности последующих поисковых работ, необходимых для реализации прогнозов. Заключительным этапом прогнозирования является подсчет прогнозных ресурсов по категориям P_2 и P_1 , дается их геолого-экономическая оценка. Перспективные участки на карте прогноза нумеруются, в их контурах проставляются категории ресурсов и их количества.

Детальное прогнозирование производится в пределах известных рудных полей, рудных зон, рудоперспективных участков в масштабах 1:10000...1:1000. Этими работами решается задача оценки промышленных перспектив ранее установленных рудоносных структур с целью оптимального направления дальнейших поисковых, оценочных или разведочных работ. Такие задачи определяют набор представляемой графики и ее содержание. В комплект представляемой графики по выполнению детального прогнозирования входят следующие документы.

1. Положение исследуемого рудного поля или перспективной зоны, структуры региона и закономерные связи его с элементами геологического строения.

2. Районирование рудного поля, перспективной зоны, структуры, месторождения по степени изученности геологическими, геофизическими, геохимическими методами.

3. Геолого-литологические особенности перспективного объекта. На геолого-литологической карте в единой легенде сводятся детальные материалы по стратиграфии, литологии, структурам, магматизму, метасоматизму. Карта является основой для составления специальных разрезов, проекций и т.п.

4. Размещение, внутреннее строение, состав зон гидротермального метасоматизма – от контактовых и до позднегидротермальных разностей. Детальное расчле-

нение метасоматитов предусматривает выделение зон прерудного, синрудного и послерудного преобразования рудовмещающих пород. Отражаются их связи с геологическими структурами и показывается зональное размещение разных типов метасоматитов в общей структуре рудного поля. Такие карты раскрывают связи между гидротермально-метасоматическими процессами и оруденением.

5. Структурно-минерагенические особенности рудного поля, рудной зоны, месторождения или перспективного участка. На такой специализированной карте отражается неоднородное строение объекта, складчатые и разрывные структуры, магматические и метасоматические ассоциации, их фациальные разновидности, а также рудоносные горизонты, геологические экраны, зоны минерализации, рудные тела или их проекции (для скрытых тел). На карту выносятся геофизические и геохимические аномалии, отражающие рудоносные структуры и зоны продуктивной минерализации.

6. Отстраиваются системы поперечных и продольных геологических разрезов, специальные блок-диаграммы, дающие представления объемного внутреннего строения рудного объекта.

7. Элементы рудно-магматической или рудно-метасоматической зональности рудного поля, характеризующие механизм формирования и внутреннего строения бывшей рудообразующей системы.

Разработаны и другие методические приемы составления комплексных крупномасштабных и детальных прогнозных карт, в том числе с использованием геологического моделирования на ЭВМ. Например, диалоговые и автоматизированные системы прогнозирования на ЭВМ, а также имитационные программы геохимических поисков месторождений полезных ископаемых.

1.11. Особенности прогнозирования скрытого оруденения

1.11.1. Закономерности размещения глубокозалегающих руд

К скрытым месторождениям относятся такие, рудные тела которых не вскрыты современным эрозионным срезом (слепые рудные тела), а также перекрытые толщей аллохтонных отложений (перекрытые рудные тела). К закрытым районам относятся площади, на которых мощность рыхлых отложений превышает 10 м. Такие территории имеют двухъярусное или трехъярусное строение: фундамент и рыхлые отложения или фундамент, рыхлые отложения и эффузивный покров. Отличие скрытых месторождений от выходящих на дневную поверхность выражается в различной глубине залегания верхней кромки рудных тел, в особенности изменения морфологии тел полезных ископаемых с глубиной, их минерального состава и зональности, а также в характере создаваемых ими геологических, минералогических, геофизических и геохимических аномалий. Поскольку эти отличия скрытых рудных объектов влияют на методы их прогноза и поисков, дадим краткую их характеристику.

Глубина залегания верхней кромки скрытых месторождений в различных структурах земной коры изменяется от десятков метров до первых километров. В фундаменте древних платформ, щитов глубина залегания находится на 100–300 м от поверхности. В чехле этих платформ погребные осадочные объекты располагаются от 40 до 2000 м, а «слепых» магматогенных – от 30 до 3000 м. В кристаллическом

фундаменте платформ палеозойского возраста погребенные рудные объекты могут залегать на глубинах от 20 до 1000 м. В чехле таких платформ осадочные месторождения располагаются на глубинах 10–500 м. В осадочном покрове краевых и внутренних прогибов, авлакогенов глубина залегания осадочных месторождений колеблется от 50 до 600 м, а скрытых эндогенных в кристаллическом основании – 150–700 м. В складчатых областях фанерозоя верхняя кромка погребенных под рыхлыми отложениями или под покровами базальтов залегает на глубинах 10–100 м, а скрытых эндогенных рудных тел от 10 до 1200 м. Во впадинах и грабенах складчатых поясов погребенные осадочные месторождения могут находиться на глубинах от 20 до 600 м, а эндогенных скрытых от 20 до 800 м.

Поэтому в отличие от рудных месторождений, выходящих на эрозионную поверхность, прогноз и поиски скрытых на глубине рудных объектов следует ориентироваться на интервалы глубин до 2 км, в пределах которых можно рентабельно разрабатывать эндогенные и экзогенные месторождения.

Морфология скрытых тел полезных ископаемых может существенно отличаться от конфигурации рудных тел, выходящих на поверхность. Это зависит от характера изменчивости тектонических структур на глубину и от типа месторождений. Например, на медноколчеданных месторождениях Урала, Алтая верхние части рудных тел чаще имеют форму штоков, а на глубине нескольких сотен метров переходят в жиллообразные залежи. Местами нижние рудные жилы не имеют видимой связи с вышележащими штоками и по-существу являются скрытыми рудными телами. На других месторождениях колчеданно-полиметаллических руд линзовидные, трубообразные сульфидные тела в карбонатных породах сменяются книзу жильно-штоковерковыми, вкрапленными в вулканогенных толщах. Общий диапазон вертикального размаха такого оруденения превышает 1 км.

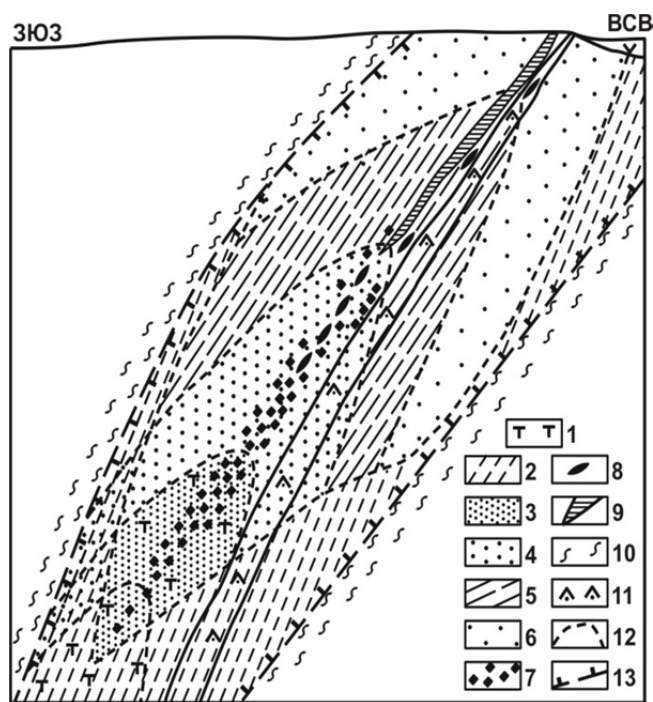


Рис. 53. Модель рудно-метасоматической зональности вкрапленного, штоковеркового, жильного золото-платинового оруденения в разрывной структуре Боко-Васильевского рудного поля Восточного Казахстана

(разрез, по А.Ф.Коробейникову):

1 – аоперидотитовые серпентиниты, 2 – пропилиты апоандезитовые, 3 – аосерпентинитовые листвениты; 4–6 – березиты-листвениты; 4 – кварц-серицит-фуксит-карбонатные, 5 – хлорит-пирит-карбонатные, 6 – кальцит-доломитовые; 7 – вкрапленные золото-платиноидно-пирит-арсенопиритовые руды, 8 – штоковерковые золото-платиноидно-кварц-сульфидные руды, 9 – кварц-золото-сульфидные жилы, 10 – углеродистые сланцы карбона, 11 – дайковые порфириды альбитизированные и лиственитизированные, 12 – границы зон метасоматитов, 13 – контуры рудно-метасоматической колонны

Для комплексных золото-платиноидных месторождений Кузнецкого Алатау, Западной Калбы, Тянь-Шаня, залегающих в черносланцевых толщах кембрия и карбона, осложненных рифтогенезом, отмечается изменчивость морфологических типов рудных тел с глубиной. Вверху рудно-метасоматической колонны протяженностью по вертикали до 1,2–3,8 км расположены жильные кварцево-золото-палладий-сульфидные; в средней части (300–600 м ниже) они сменяются штокверковыми кварцево-платино-сульфидными, а внизу (400–600 м) они подстилаются зонами прожилково-вкрапленных золото-платиноидно-арсенопиритовых ассоциаций (см. рис. 53).

Минеральный состав скрытых рудных тел также может существенно изменяться с глубиной рудно-метасоматических колонн. Это связано с особенностями состава минералообразующих растворов и с изменением состава рудовмещающих пород с глубиной. Например, в Никопольском марганцевом месторождении наблюдается смена окисных марганцевых руд карбонатными парагенезисами в направлении падения пластовых залежей. Она согласуется со сменой песчаного терригенного материала рудовмещающего комплекса на глинистые фракции пород внизу.

В ряде золоторудных месторождений эндогенного генезиса отмечается смена сверху вниз рудной зоны ассоциации кварц-золото-сульфосольных (с Pd) жильных руд на кварц-золото-полисульфидные или кварц-золото-арсенопиритовые (с Pt). Например, в Саралинском золоторудном поле Кузнецкого Алатау сформированы жильные кварц-золото-платиноидные комплексные руды в черносланцевых вулканогенно-осадочных толщах кембрия. Здесь минеральная зональность кварцевых жил выразилась в смене снизу вверх рудно-метасоматической колонны кварц-пирит-пирротиновой (с золотом, платиной, иридием), кварц-пирит-арсенопиритовой (с Au, Pt, Ir, Rh) на кварц-золото-сфалерит-галенит-халькопиритовую и кварц-анкерит-кальцитовую вверх. Протяженность рудной зоны по падению (35–55°) составила 0,8–1,2 км (см. рис. 54)



Рис. 54. Рудно-метасоматическая зональность

золото-кварцево-жильного месторождения Каскадного.

Поля развития минералов околорудных метасоматитов: 1 – тремолита; 2 – гидробиотита; 3 – хлорита; 4–6 – коэффициент рудной зональности ($K_{P3} = \frac{\text{галенит} \times \text{сфалерит} \times \text{халькопирит}}{\text{арсенопирит} \times \text{пирротин} \times \text{ЦИ}}$): 4 – $K_{P3} \geq 50$; 5 – $K_{P3} = 1-50$; 6 – $K_{P3} < 1$

С глубиной рудной зоны возрастают значения отношений арсенопирита к сфалериту, а пирротина к халькопириту и сокращается количество галенита в жилах. Сульфиды составляют 7–20% от общей жильной массы. Обогащенные сульфидами золотом (с Pt, Pd, Ir) участки жил представлены рудными столбами, склоняющимися на запад под углами 30–50° вдоль плоскости кварцевой жилы. Они кулисообразно сменяют друг друга по вертикали. По падению рудных жил установлена двухволновая смена максимальных скоплений пирита пентагондодекаэдрического габитуса на кубические с амплитудами волн 400–600 м. По простиранию и с глубиной кварцевых жил постепенно возрастает доля пирита с электронным типом проводимости (рис. 55–58).

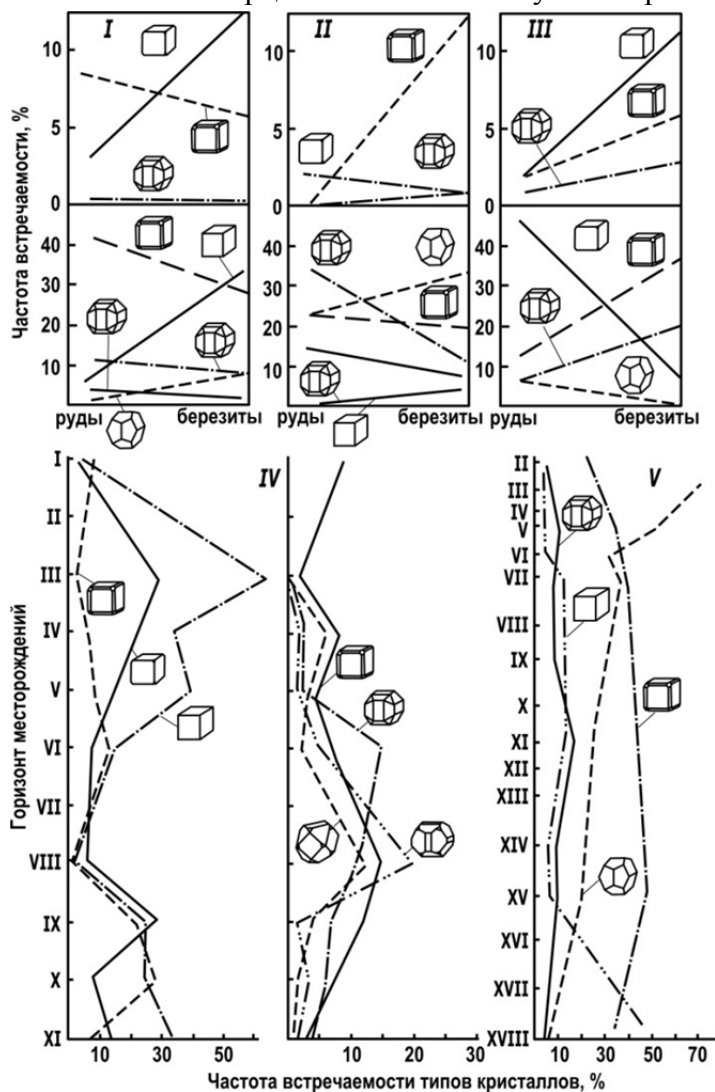


Рис. 55. Изменение морфологических типов кристаллов пирита в разнотемпературных минеральных ассоциациях (I–III) и с глубиной (IV–V) месторождений золото-кварцево-березитовой и метасоматической золотосульфидной формаций.
Ассоциации: I – золотокварцево-актинолитовая; II – золотокварцево-шеелитовая; III – золотокварцево-висмутосульфидная; IV – кварцево-золотосульфидная; V – кварцево-золото-полиметаллическисульфидная

Эндогенная зональность является основным параметром для прогноза скрытых месторождений. В гидротермальных рудных объектах нередко проявляется вертикальная рудная и метасоматическая зональность. Она свойственна рудным полям и отдельным месторождениям. Рудная зональность обусловлена закономерным размещением типов руд неодинакового минерального состава и неодинаковых структурно-морфологических разновидностей в общей рудно-метасоматической колонне. Внизу такой палеогидротермальной колонны располагаются вкрапленные, прожилково-вкрапленные золото-платиноидно-сульфидные, в средней части – штокерково-жильные кварцево-золото-платино-полиметаллически сульфидные и вверху – жильные кварцево-золото-палладий-сульфидно-сульфосольные ассоциации (рис. 53). В пределах рудных узлов, рудных полей отчетливо проявляется вещественная зональность разнотипных месторождений. Например, на Урале, в Забайка-

лье, на Тянь-Шане, на Чукотке среди крупных региональных шовных зон в нижних блоках структур залегают типичные золото-скарновые (с Pt, Pd, Rh), а в верхних медно-порфировые золотоносные (с Pt, Pd) и кварцево-золото-сульфидные руды. Общая вертикальная протяженность таких магматогенно-гидротермальных колонн составляет 1–1,8 км и более (рис. 59.)

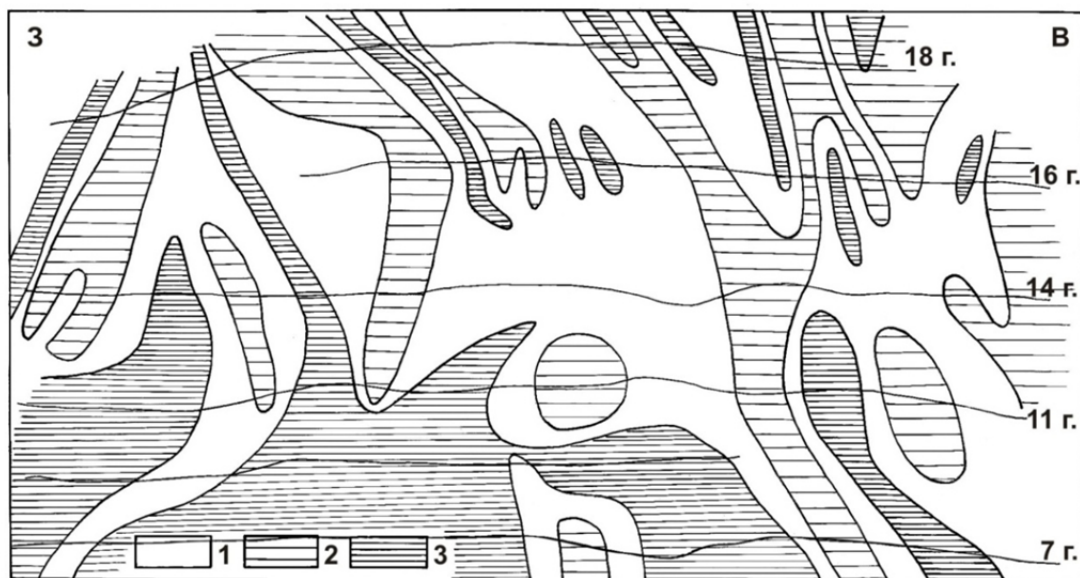


Рис. 56. Ореолы распространения арсенопирита, пирротина, халькопирита в плоскости Каскадной кварцево-золото-сульфидной жилы:
1 – арсенопирит, 2 – пирротин, 3 – халькопирит

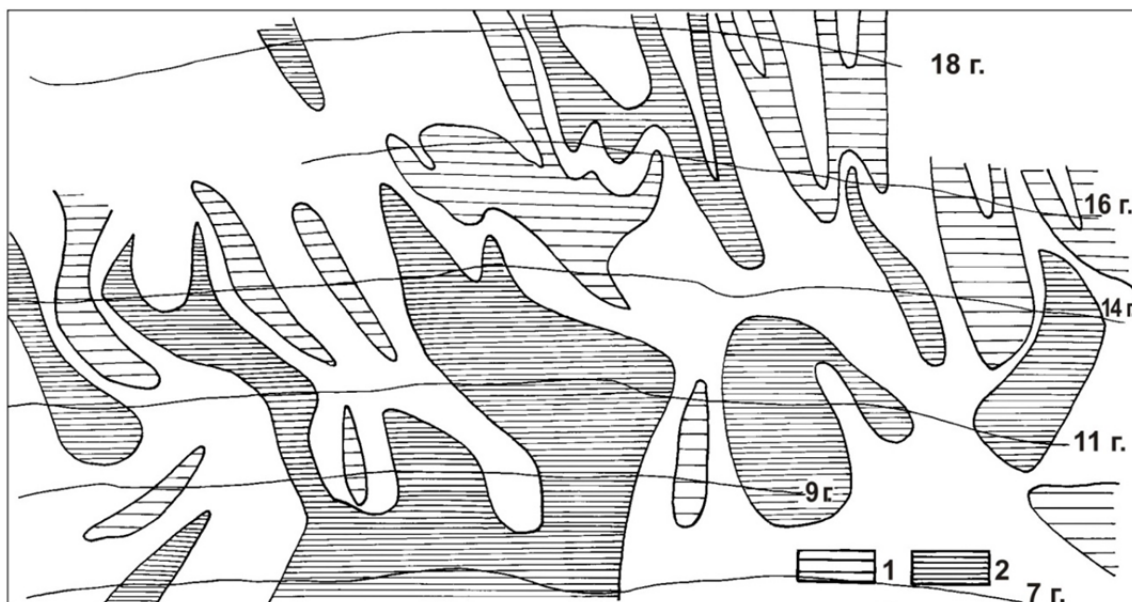


Рис. 57. Ореолы распространения сфалерита и галенита в плоскости той же жилы:
1 – сфалерит, 2 – галенит

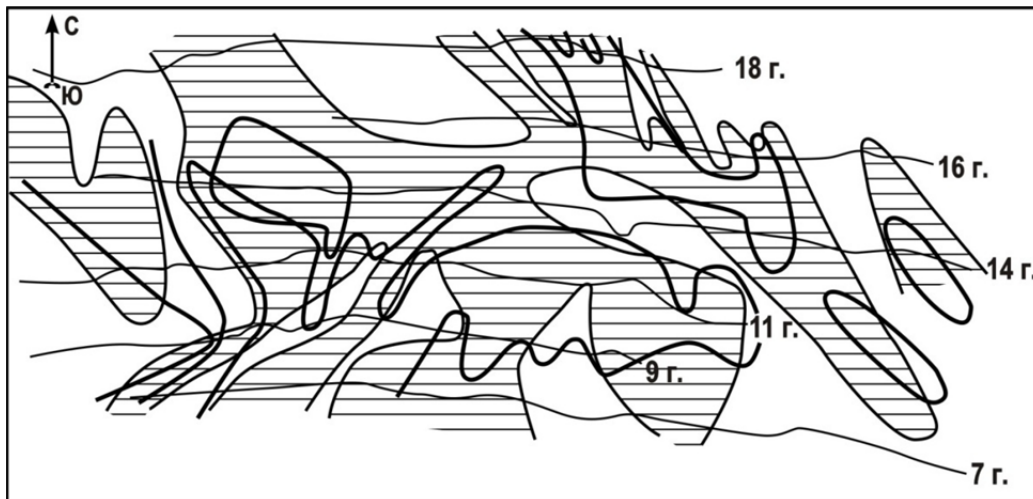


Рис. 58. Изменение показателя зональности $K_{p3} = \frac{PbS + ZnS + CuFeS_2}{FeS + FeAsS + FeS_2} \cdot \frac{1}{ЦИ}$ того же месторождения, $K_{p3} \leq 50$

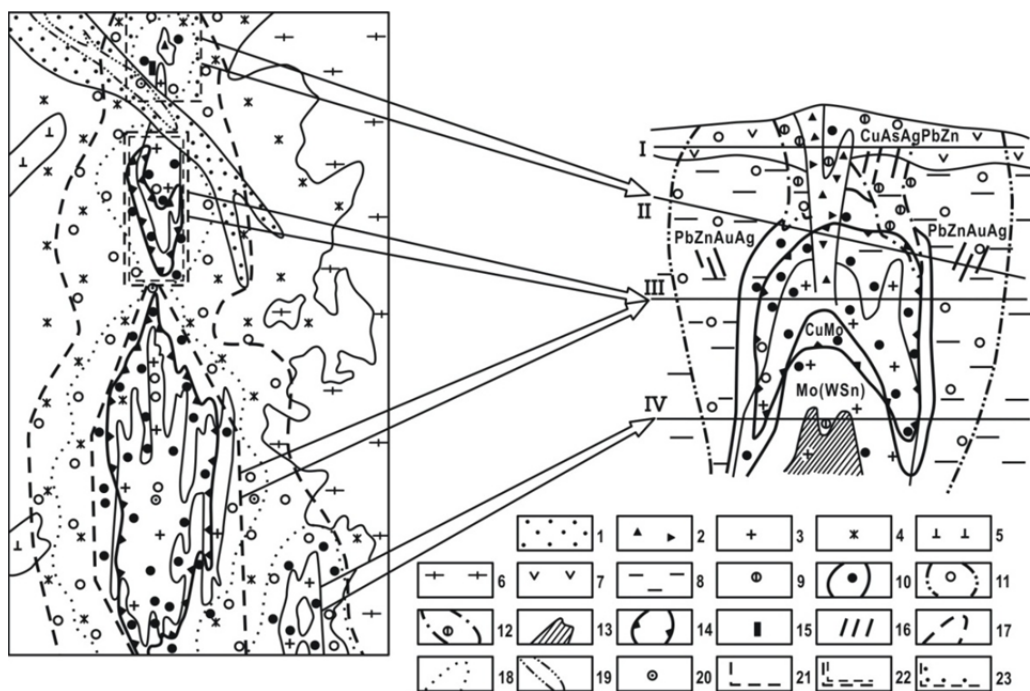


Рис. 59. Геологоструктурная карта и разрез Печанковского рудного поля Чукотки (В.И. Ваганов и др.).

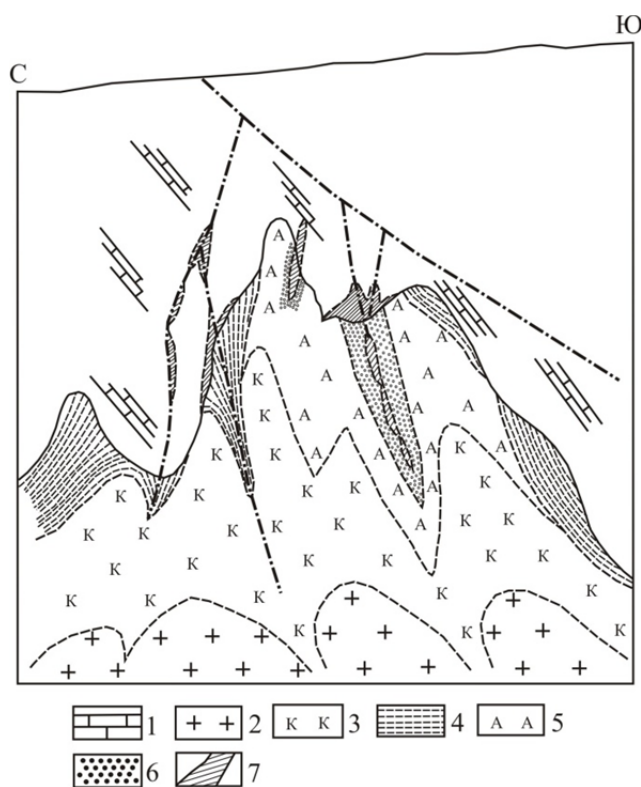
1 – аллювиальные четвертичные отложения; 2 – брекчиевые тела; 3 – кварцевые монцитит-порфиры; 4 – монцититы; 5 – габбро; 6 – терригенные породы; 7 – вулканогенные породы (на поисковой модели); 8 – породы «рамы» (на поисковой модели); гидротермально-метасоматические изменения: 9 – калиево-кремниевые, 10 – филлизитовые, 11 – пропилитовые, 12 – аргиллизитовые; 13 – кварц-полевошпатовые «ядра»; зоны и проявления рудной минерализации: 14 – молибденово-медной, 15 – полисульфидной; 16 – проявления жильной минерализации различного типа (на поисковой модели); контуры аномалий: 17 – геофизических (совмещенных магнито- и электроразведочных), 18 – комплексных геохимических (медь, молибден, золото, серебро); 19 – шлиховых; 20 – поисковое бурение, скважины; поисковые участки: 21 – I очереди, 22 – II очереди; 23 – III очереди. Римскими цифрами обозначены уровни эрозионного среза

Эндогенная рудно-метасоматическая зональность отчетливо проявилась на золоторудных полях и месторождениях рифтогенного типа и в зонах тектономагматической активизации складчатых поясов фанерозоя. Например, в районах ТМА складчатых структур Забайкалья формирование золоторудных полей и месторождений происходило путем синхронного рудоотложения с метасоматизмом. Рудное вещество концентрировалось в определенной зоне метасоматической колонны и отлагалось в форме метасоматической кварцево-сульфидной вкрапленности, кварцевых жил и штокверков. Здесь проявились две основные стадии метасоматизма и рудоотложения: предрудная кварц-полевошпатового метасоматоза (450–220°C) с вкрапленными золото-кварцевыми рудами и березитизации-лиственнитизации (360–180°C) с синхронными жильно-штокверковыми (320–120°C) кварц-золото-сульфидными ассоциациями.

В Ольховско-Чибижекском золоторудном поле Восточного Саяна в эндоконтакте с гранитоидами развиты относительно высокотемпературные (360–240°C) жильно-штокверковые кварц-золото-медносульфидные (с Pt, Pd) руды в березитах; в непосредственном контакте – среднетемпературные (320–180°C) золото-медно-теллуридно-сульфидные метасоматические залежи в магнезиально-известковых скарнах; в удаленном экзоконтакте – низкотемпературные (260–110°C) золото-карбонатно-кварц-гематитовые залежи. Пробы золотин снижаются с 958 ‰ в ранних рудах контактовых зон до 868–688 и даже 582 ‰ в сплошных сульфидных телах и вкрапленных рудах удаленного экзоконтакта гранитоидной интрузии (рис. 60).

Рис. 60. Размещение различной золоторудной и золото-платиноидной минерализации в контактах Ольховского гранитоидного массива (схематический разрез):

1 – контактовые мраморы и кальцифиры, ϵ_2 ; 2 – гранодиориты, плагиограниты, ϵ_3 -O; 3 – зона калишпатизации гранитоидов; 4 – зона биотитизации гранитоидов; 5 – зона альбитизации гранитоидов; 6 – березитизированные гранитоиды; 7 – жилы кварц-золото-платиноидно-сульфидного состава и контактово-метасоматические золото-платиноидно-сульфидные залежи



В Центральном кварцево-золоторудном жильном поле гранодиоритового массива Кузнецкого Алатау проявилась горизонтальная температурная зональность. В северной части интрузива распространены более высокотемпературные (420–380°C) кварц-молибденитовые жилы (с Au, Pt). Южнее они сменяются среднетемпературными (320–180°C) кварцевыми жилами с халькопирит-галенит-

сфалеритовой, кварц-халькопирит-пирротиновой (с теллуридами) минерализацией. По коэффициентам зональности пиритов жил ($K_1 \frac{n(210) \cdot m(100)}{n_1(100) \cdot m_1(210)}$ и $K_2 \frac{n(210) + m_1(210)}{n_1(100) + m(100)}$, где n, n_1 – встречаемость (в %) граней (210) и (100) в пиритах кварцевых жил; m, m_1 – то же для пиритов из березитов) определяются уровни эрозионного среза отдельных рудных жил. По падению рудных жил K_1 сокращается в 20 раз на глубину 800 м (рис. 61).

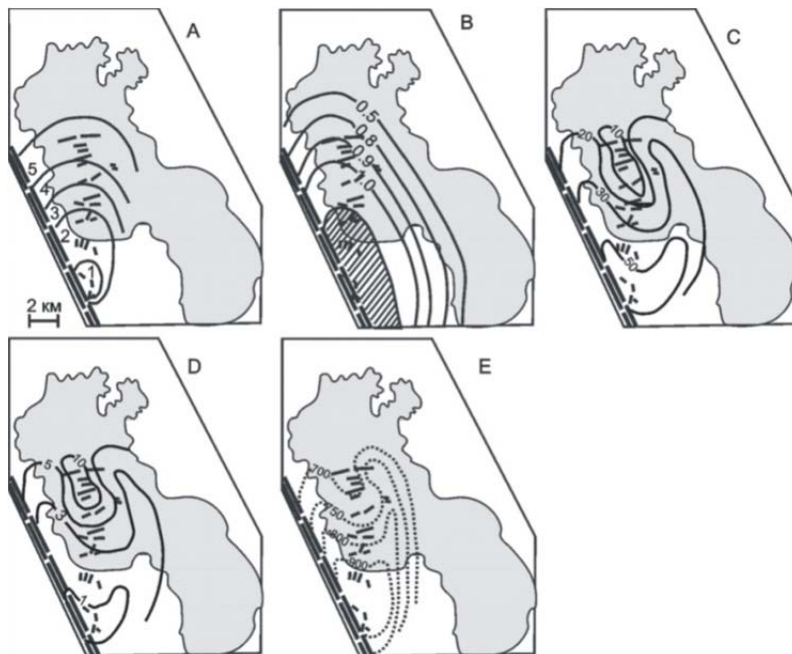


Рис. 61. Латеральная минералогическая зональность Центрального рудного поля (Кузнецкий Алатау) (по Ворошилову В.Г.):

А – минеральные зоны рудного поля (по типоморфным минералам): 1 – турмалиновая; 2 – шеелитовая; 3 – молибденит-халькопиритовая; 4 – галенит-сфалеритовая; 5 – арсенопиритовая (заливкой показан контур гранодиоритового массива); В – степень триклинности калишпата из зон калишпат-эпидот-хлоритовых метасоматитов (заштрихована область развития решетчатого микроклина); С – доля пиритов с электронным типом проводимости (в %) в золотоносных кварцево-сульфидных жилах; D – интенсивность естественной термолюминесценции жильного кварца (в условных единицах); E – пробность самородного золота в кварцево-сульфидных жилах (от 700 до 900‰)

Геохимические поля и аномалии проявляются в рудных полях и в рудно-метасоматических зонах (рис. 48, 62). Для геохимических аномалий, обусловленных скрытыми месторождениями, отмечается ослабление их контрастности по мере увеличения глубины залегания рудных полей. Рудные поля и месторождения размещаются на площадях, фиксируемых в геохимических и гравимагнитных полях как переходные зоны между крупными региональными аномалиями. Рудные объекты окружены непосредственно областями отрицательных и пониженных значений их напряженности – интенсивности. Такие геохимические поля создавались путем перераспределения и привноса металлов при площадных метасоматических процессах глубинного типа. И только локальные метасоматиты-березиты с кварцевыми телами сопровождалась возросшими концентрациями элементов.

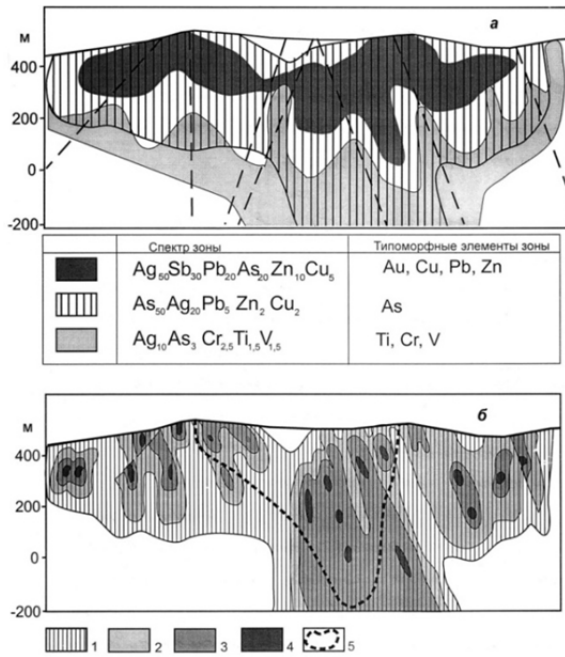


Рис. 62. Геохимическая зональность березитов в плоскости кварцево-сульфидной жилы Центрального рудного поля (а) и минеральный состав руд той же жилы (б)

(по В.Г. Ворошилову).

1 – березиты; 2 – кварц + пирит; 3 – кварц + пирит + арсенопирит; 4 – кварцево-золотополисульфидная (галенит + сфалерит + халькопирит ± пирротин) ассоциация; 5 – участок развития пирротина в полисульфидной ассоциации

Физические поля и аномалии

фиксируют рудные поля, зоны, месторождения повышенными и пониженными значениями их напряженности (рис. 63–65). При этом зоны ранней альбитизации-калишпатизации пород

характеризуются пониженными значениями магнитного поля, отрицательными аномалиями естественного электрического поля и повышенными гамма-спектрометрическими аномалиями калия. Рудные объекты чаще залегают на участках контрастной смены положительных аномалий на отрицательные (рис. 62). Особенно контрастными оказались магнитные поля, поля радиоактивности, а в случае локализации оруденения в черносланцевых толщах – и электрические поля.

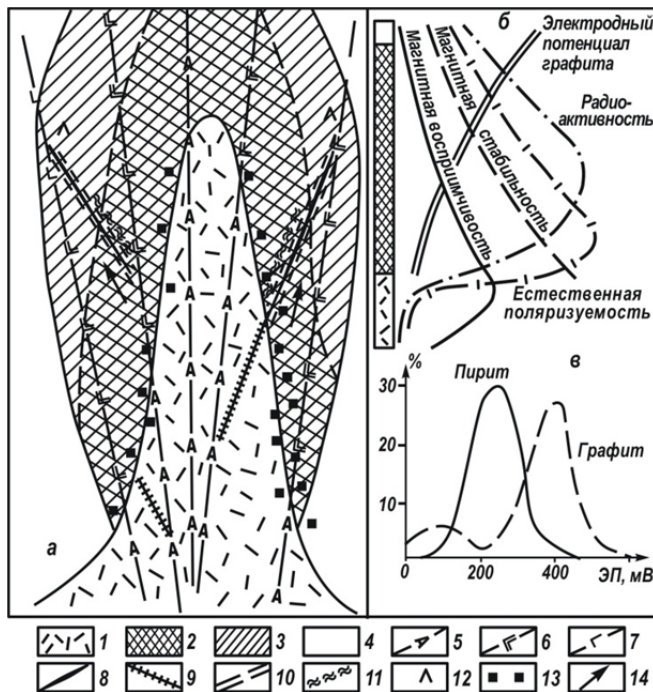


Рис. 63. Физико-геологическая модель Каскадного кварцево-углеродистых сланцев кембрия Саралинского рудного поля

(по А.Ф. Коробейникову).

а – модель-разрез; б – графики изменения физических параметров сланцев в вертикальном разрезе; в – графики различия электродных потенциалов (ЭП) минералов-полупроводников рудовмещающих сланцев. 1-4 – углеродисто-кремнистые сланцы Е: 1 – осветленные (альбитизированные, лиственитизированные, окварцованные), 2,3 – графитизированные с рассеянной пирит-пирротиновой (2) и пиритовой (3) минерализациями; 4 – сланцы за пределами зоны графитизации; 5-7 – дайки габбро-диабазов Е3: 5 – альбитизированные пониженно магнитные; 6 – амфиболитизированные повышено магнитные; 7 – умеренно магнитные; 8 – золотоносные

кварцевые жилы; 9 – кварц-альбитовые жилы; 10 – березиты; 11 – околорудная графитизация; 12 – листвениты в дайках; 13 – участки, обогащенные пирротин; 14 – вектор зональности состава жил

Рис. 64. Физико-геологическая модель месторождения золота в гранодиоритовом интрузиве:

1-3 – гранодиориты: 1 – повышено магнитные, 2 – калишпатизированные пониженно магнитные, 3 – умеренно магнитные за пределами рудных участков; 4 – золотосные кварцево-сульфидные жилы; 5 – зоны березитизации; 6 – границы развития золотопродуктивных рудных тел; 7 – зоны локальной калишпатизации; 8 – линия сопряжения с зоной повышенной флюидопроницаемости; 9 – направления движения металлоносных растворов по зоне калишпатизации; 10 – граница развития высокотемпературных шеелитовых парагенезисов в жилах; 11 – графики радиоактивности (штриховая линия) и магнитного поля; 12 – гистограммы магнитной восприимчивости гранодиоритов из зон пониженной (I), повышенной рудоносной (II) и умеренной (III) магнитности (по Г.Г. Номоконовой)

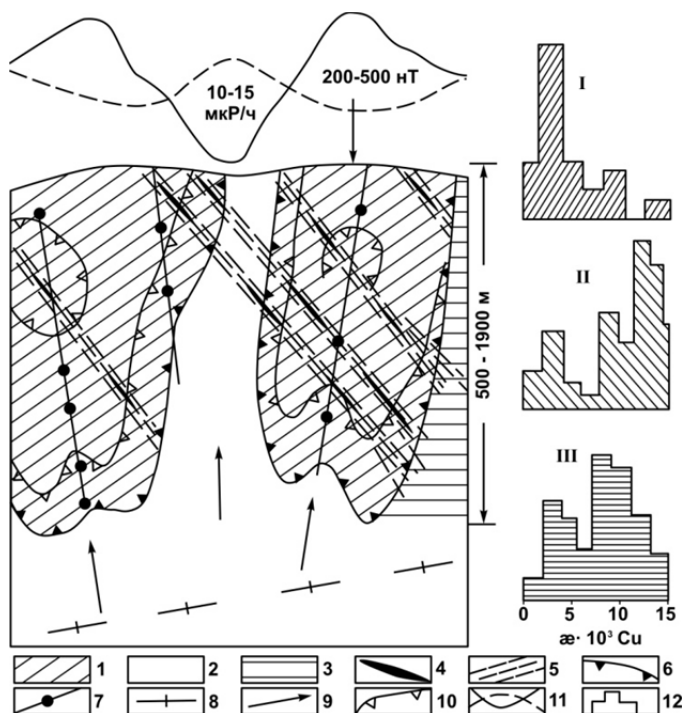
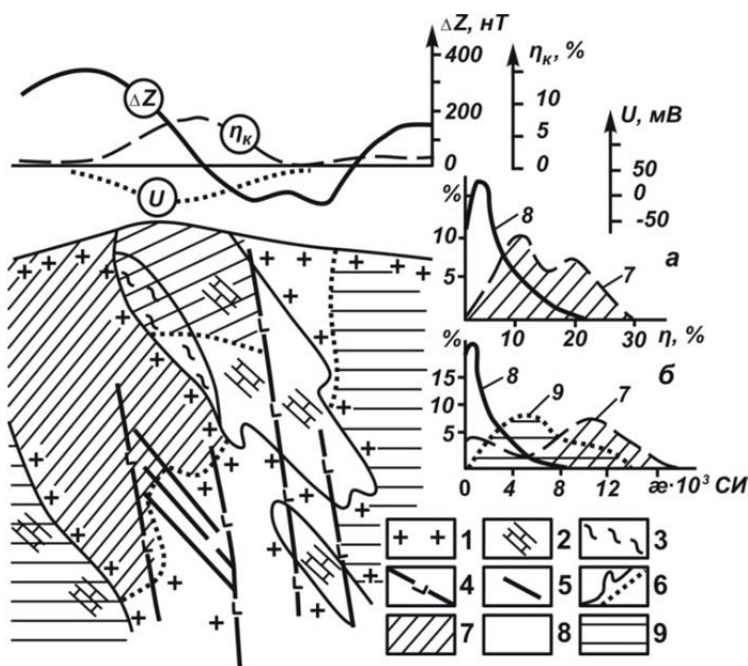


Рис. 65. Физико-геологический разрез месторождения в гранитоидах восточной части Ольховско-Чибижевского рудного поля

(по А.Ф.Коробейникову и др.):

1 – граниты, гранодиориты; 2 – известняки; 3 – роговики; 4 – дайки диоритовых порфиритов; 5 – кварцево-сульфидные золотосные жилы; 6 – границы петрографических (а) и петрофизических (б) разновидностей пород; 7 – повышено-магнитные гранитоиды и графитизированные вмещающие породы; 8 – пониженно-магнитные гранитоиды и мраморизованные, скарнированные вмещающие породы; 9 – породы за пределами изменений; а-б – вариационные кривые вызванной поляризуемости известняков и роговиков (а) и магнитной восприимчивости гранитоидов (б); приведены графики магнитного поля (ΔZ) естественной (U) и вызванной (η_k) электрических поляризаций



1.12. Рудно-метасоматическая зональность как основа прогнозирования скрытого оруденения

Развитие минералообразующих растворов во времени и пространстве на фоне структурных и тепловых флюидопроводников приводит к зональному размещению продуктов минералообразования. По масштабам проявления и направлениям векторов эндогенной зональности можно выделить зональность рудных зон, рудных полей, месторождений и рудных тел. Для многих типов месторождений выявляется однотипная вертикальная рудно-метасоматическая зональность – смена снизу вверх площадных щелочных (K, Na) метасоматитов на околотрещинные локальные березиты-листвениты, грейзены, гумбеиты или эйситы, пропилиты, аргиллизиты с вкраплено-прожилковыми, штокверковыми рудами внизу и сульфидными телами, кварцево-сульфидными жилами вверху колонны (рис. 30, 53, 66–69). В пределах наиболее вскрытых рудных полей эта зональность выразилась в развитии ранних более высокотемпературных (460–360°C) альбит-калишпатовых метасоматитов в нижней части палеогидротермальной колонны; выше по разрезу размещены грейзены, гумбеиты или березиты-листвениты, аргиллизиты, эйситы (380–110°C) с различными структурно-морфологическими и минеральными типами руд. Основные рудные скопления размещаются на участках смены площадных метасоматитов K-Na состава на локальные метасоматиты стадии кислотного выщелачивания (березиты-листвениты) общего послемагматического процесса.

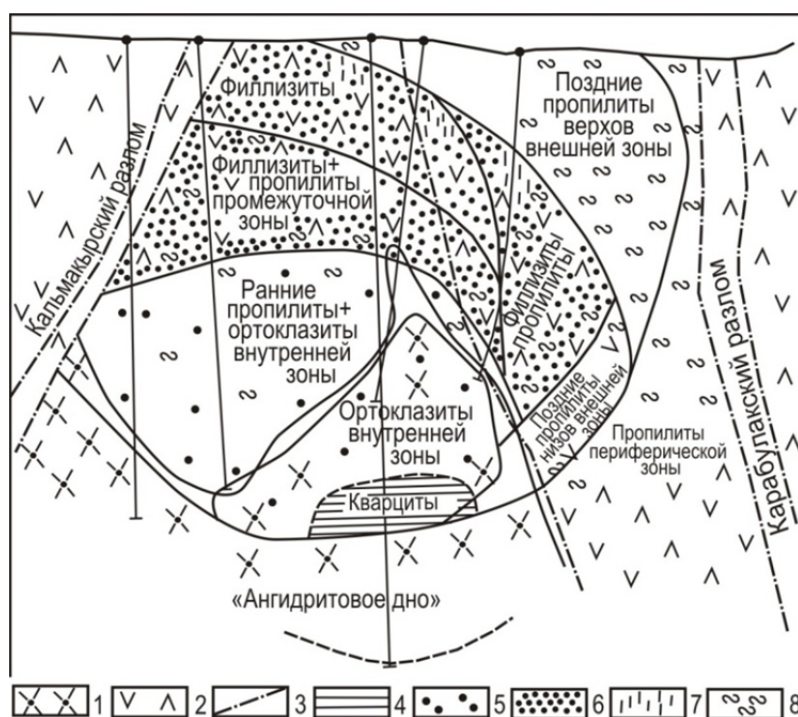


Рис. 66. Модель метасоматической зональности в центральном сечении штокверка месторождения Дальнее (по И.М. Голованову и др.):

1 – кварцевые монзонит-порфиры, 2 – монзониты, 3 – разломы, 4 – кварциты, 5 – ортоклазиты, 6 – филлизиты, 7 – аргиллизиты, 8 – пропилиты

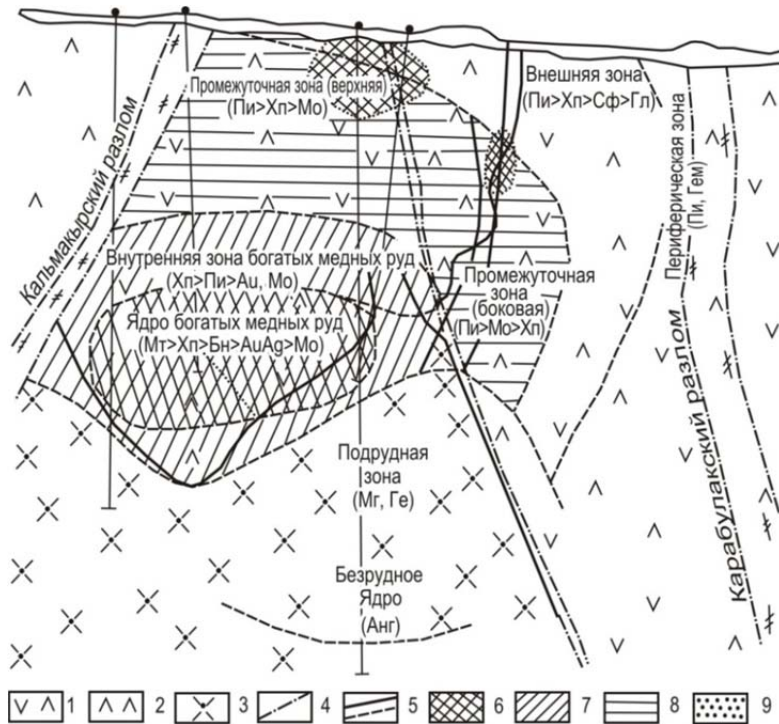


Рис. 67. Модель рудной зональности в центральном сечении штоковместорождения Дальнее (по Н.М. Голованову и др.):

1 – монзониты, 2 – диориты, 3 – кварцевые монзонит-порфиры, 4 – разломы, 5 – границы пород (а), границы зон (б), 6 – ядро медных руд, 7 – внутренняя зона, 8 – промежуточная, 9 – внешняя

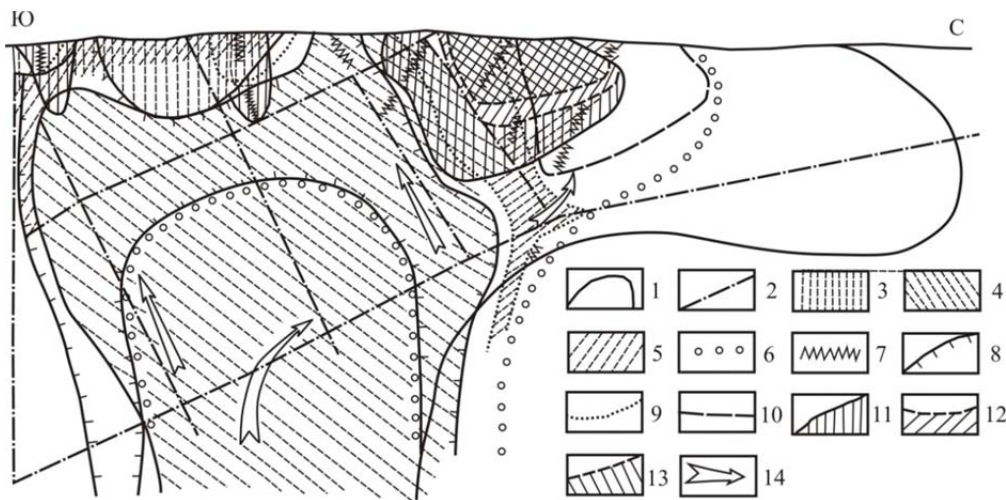


Рис. 68. Рудно-метасоматическая зональность Центрального золоторудного поля, разрез (по В.Г. Ворошилову):

1 – контур Центрального гранитоидного массива; 2 – региональные разрывы; 3 – амфиболовые метасоматиты; 4 – кварц-калишпатовые метасоматиты; 5 – полевошпат-эпидот-хлоритовые метасоматиты; 6 – березиты; 7 – кварц-золото-сульфидные жилы; 8 – зоны развития шееелита; 9 – зоны развития молибденита; 10 – зоны развития арсенопирита; 11 – зоны развития халькопирита; 12 – зоны развития сфалерита; 13 – зоны развития галенита; 14 – потоки рудообразующих палеогидротерм

В скарново-рудных полях гранитоидных интрузий проявилась минералогическая зональность руд в соответствии с фациальной зональностью контактовых мета-

соматитов. Выделяются следующие рудно-метасоматические зоны (рис. 69): внутренняя гранатовая золото-виттехенит-молибденит-борнит-халькопиритовая (1); средняя (2) эпидот-актинолитовая золото-герсдорфит-арсенопирит-кобальтиновая; внешняя (3) кварц-кальцит-хлоритовая арсенопирит-кобальтиновая; жильная (4) кварц-галенит-сфалеритовая.

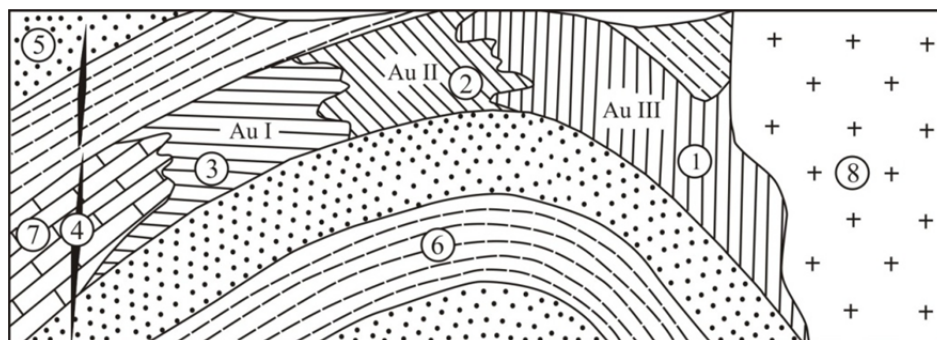


Рис. 69. Рудно-метасоматическая зональность скарновых комплексных месторождений Саяжской группы (по Л.А.Мирошническо и др., 1970).

Зоны: 1 – гранатовая золото-виттехенит-молибденит-халькопиритовая; 2 – эпидот-актинолитовая золото-висмутин-пирротиновая; 3 – кварц-кальцит-хлоритовая золото-герсдорфит-арсенопирит-кобальтиновая; 4 – жильная кварц-хлорит-галенит-сфалеритовая; 5 – песчаники; 6 – туфоалевролиты; 7 – известняки; 8 – гранодиориты

Во внутренней скарновой зоне сконцентрированы медные руды с Au, Mo, Bi, а внешняя зона метасоматоза обогащена Co, Ni, Au, особенно Au. В эндоконтакте гранодиоритового интрузива отмечается интенсивная альбитизация интрузивных пород.

В Ольховско-Чибижеском рудном поле также проявилась контактовая рудно-метасоматическая зональность: в контактах гранитоидов с кальцифирами развиты магнезиальные и известковые скарны с золото-пирротин-медносульфидными залежами; в эндоконтакте проявлены березиты с кварцево-золото-платиноидно-медносульфидными и теллуридными рудами жильного типа; в мраморах удаленных контактов гранитоидов сформировались золотоносные карбонатно-гематитовые тела. Золото-сульфидные тела представлены гнездами, трубами, линзами, жилами в верхних частях скарновых зон. Состав таких метасоматических зон представлен реликтами от замещения гидросиликатами и сульфидами: фассаитом, форстеритом, шпинелью, монтичеллитом, диопсидом, гроссуляр-андрадитом, волластонитом, актинолитом, хлоритом. Рудные минералы представлены пирротином, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, блеклой рудой, креннеритом, калаверитом, гесситом, тетрадимитом, теллуrowисмутом, золотом (пробы 958...568‰) (рис. 60).

Рудно-метасоматическая зональность проявляется в рудных полях медно-молибден-порфировой формации. Медно-порфировые, золото-медно-порфировые месторождения также характеризуются зональным распределением медно-золото-сульфидной продуктивной минерализации среди зон метасоматитов. Выявляются ядерная, внутренняя, промежуточная и внешняя зоны, сложенные пропилитами, аргиллизитами, окварцованными гранитоидами, содержащие неодинаковое медно-

молибден-вольфрамовое оруденение с Au, Te, Bi, Pd (рис. 66, 67). Среди руд выделяются магнетит-пиритовый, халькопирит-борнитовый, пирит-халькопиритовый, молибденитовый, энаргит-полисульфидный минеральные типы [Прогнозно-поисковые..., 1984]. Среди месторождений порфирирового семейства преобладают медно-порфирировый (Au 0,4 г/т) и золото-медно-порфирировый (0,5–3 г/т Au) типы [А.И. Грабежев, А.Ф.Коробейников и др., 1995 г.]. Халькопирит-борнитовые руды приурочены к центральным частям рудных зон, а пирит-халькопиритовые – к внешним. Халькопирит-борнитовые парагенезисы несут включения минералов Bi, Te, Se, Mo, Au, Ag, Pt, Pd. Содержание Au, Ag, Pt, Pd в таких рудах превышают 1–3 г/т, иногда достигая значений 11 г/т Au. благородные металлы концентрируются в агрегатах халькопирита и борнита. Самородное золото пробы 850–550‰ в виде дисперсных выделений находится в этих сульфидах, размеры выделений составляют 0,01–0,07 мм. Халькопирит и борнит ассоциируют с сульфидами Ag, Bi, Sn, теллуридами Pb, Ag, Bi, с самородными Au, Ag, Bi.

На рис. 66, 67 показана метасоматическая и рудная зональность месторождения Дальнего крупнейшего Алмалыкского медно-золото-порфирирового рудного поля. Здесь среди штоков карбонового возраста проявляется рудно-метасоматическая зональность – ядро богатых медных руд (с магнетитом, халькопиритом, молибденитом, золотом, серебром); внутренняя зона богатых медных руд (пирит, гематит, титаномагнетит, блеклая руда, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит, золото, серебро); промежуточная внешняя зона (пирит, халькопирит, молибденит). Ядро медных руд совмещается с ортоклазитами и низами филлизитов. Внутренняя зона совпадает с филлизитами и ранними пропилитами, а верхняя зона – с поздними пропилитами. Золото в сульфидах дисперсное 0,01 мм, реже видимое до 0,3 мм, а в жильном кварце видимое 0,1–1 мм. Пробы его составляют 591...900‰. В халькопирите содержится до 10...50 г/т Au. Встречены теллуриды Au – калаверит, креннерит, минералы Ag – акантит, айкинит, самородное серебро.

Итак, при прогнозировании промышленного комплексного оруденения в порфирировых и иных рудных полях следует учитывать проявление рудно-метасоматической зональности относительно фаций интрузивов или дайковых свит в отдельных структурных блоках.

1.13. Классификация прогнозных ресурсов полезных ископаемых

Согласно приказу Министра природных ресурсов Российской Федерации от 11.12.06 № 278 введена новая «Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

Количественная оценка прогнозных ресурсов производится по завершении каждой стадии геологоразведочного процесса. Характер объектов прогноза, степень их изученности, точность и надежность прогнозирования меняются от стадии к стадии.

Прогнозными считаются ресурсы неразведанных или необнаруженных месторождений полезных ископаемых, наличие которых предполагается на основании благоприятной геологической обстановки, прямых или косвенных поисковых признаков образования, размещения месторождений определенных генетических, формационных, промышленных типов. Прогнозные ресурсы устанавливаются преимуще-

щественно без привязки к конкретным рудным телам и характеризуют объем недр, в котором предполагается залегание рудных тел.

Прогнозные ресурсы категории P_1 учитывают возможность расширения границ распространения полезного ископаемого за контуры запасов C_2 или выявления новых рудных тел полезного ископаемого на рудопроявлениях, разведанных или разведываемых месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел. Оценка ресурсов основывается на результатах геологических, геофизических и геохимических исследований участков недр возможного нахождения полезного ископаемого, на материалах структурных и поисковых скважин, а в пределах месторождений – на геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной их части, ограничивающих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес.

Прогнозные ресурсы категории P_2 учитывают возможность обнаружения в бассейне, рудном районе, узле, поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной (в отдельных случаях среднемасштабной) геологической съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основаны на комплексе прямых и косвенных признаков рудоносности, на материалах отдельных рудных пересечений, а также по аналогии с известными месторождениями того же формационного (геолого-промышленного) типа. Прогнозные ресурсы выявляются при крупномасштабной геологической съемке, поисках и (частично) при геологических съемках с комплексом прогнозно-поисковых работ, геолого-минерагеническом картировании масштаба 1:200000. Прогнозные ресурсы в количественном выражении с привязкой к локальным площадям служат основой для постановки детальных поисковых работ.

Прогнозные ресурсы категории P_3 учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных геологических и палеогеографических предпосылок, выявленных в оцениваемом районе при средне-мелкомасштабных геолого-геофизических и геологосъемочных работах, дешифрировании космических снимков, а также при анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Прогнозные ресурсы категории P_3 оцениваются при геологосъемочных работах масштаба 1:200000 с комплексом прогнозно-поисковых работ, геолого-минерагеническом картировании масштабов 1:200000 и 1:500000, а также по итогам геологического картографирования масштаба 1:1000000. Их количественная оценка производится без привязки к конкретным объектам.

Количественно оцененные ресурсы служат основанием для постановки геологического картографирования масштаба 1:50000 и поисковых работ.

Количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов производится до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровне техники и технологии разработки месторождений, на основе ориентировочных технико-экономических расчетов.

Вопросы для самопроверки первой части

1. Поясните цели и задачи учебной дисциплины «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых».
2. На какие учебные дисциплины опирается данное учение по прогнозированию и поискам промышленных месторождений?
3. Кратко охарактеризуйте историю становления данной учебной дисциплины.
4. Поясните принципы и задачи геологического прогнозирования.
5. Охарактеризуйте геологические предпосылки прогнозирования формационных и геолого-промышленных типов месторождений.
6. В каких масштабах выполняется региональное минерагеническое прогнозирование? На каких стадиях геологоразведочного процесса оно проводится?
7. Какие методы региональных прогнозно-минерагенических работ Вам известны? Кратко охарактеризуйте эти методы.
8. После проведения каких стадий геологоразведочного процесса составляются прогнозно-минерагенические карты? Какие методы используются при их составлении?
9. В каких случаях составляются карты прогноза?
10. Что отражается на прогнозно-минерагенических и прогнозных картах? Поясните отличия минерагенических и прогнозных карт.
11. Какие графические документы необходимы для составления прогнозно-минерагенических и прогнозных карт?
12. Кратко охарактеризуйте классификацию прогнозных ресурсов полезных ископаемых.
13. Поясните цели и задачи мелко- и среднемасштабного геологического прогнозирования.
14. Чем отличается крупномасштабное геологическое прогнозирование от мелко- и среднемасштабного?
15. Охарактеризуйте особенности локального (детального) прогнозирования.
16. С какой целью выполняется прогнозирование при глубинном геологическом картировании и каковы методы его проведения?
17. Кратко охарактеризуйте геофизические методы при среднемасштабных и крупномасштабных прогнозно-минерагенических исследованиях.
18. Какие задачи ставятся перед геофизическими работами при крупномасштабных прогнозных исследованиях?
19. Чем отличаются крупномасштабные и детальные карты прогноза от мелко- и среднемасштабных минерагенических и прогнозных карт?
20. Поясните методы составления крупномасштабных и детальных карт прогноза.
21. Какие графические материалы необходимы для составления крупномасштабных и детальных карт прогноза?
22. Какие геологические данные отражаются на картах прогноза среднего и крупного масштаба?
23. Чем отличаются карты прогноза крупномасштабные от детальных?
24. Охарактеризуйте специфику прогнозирования скрытого оруденения.

25. Какие особенности размещения глубокозалегающих руд Вам известны? Поясните отличия рудных тел выходящих на дневную поверхность и скрытых рудных тел?
26. Какова роль рудно-метасоматической и геохимической зональности при прогнозировании и поисках скрытого оруденения?

Часть 2

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рассматриваются проблемы поисков и оценки полезных ископаемых, образованных в различных геологических палеообстановках. Обсуждаются поисковые критерии и признаки промышленного оруденения, природные условия проведения поисковых работ. Они включают геологоструктурные факторы, степень расчлененности рельефа, ландшафтно-климатические обстановки, влияние мощности наносов и обнаженности территорий. Все поисковые методы подразделяются на дистанционные, наземные и подводные группы. На основе теоретических разработок прогнозирования рудных объектов разного ранга дано обоснование методических приемов поисков и оценки месторождений полезных ископаемых. Показаны современные научные подходы рационального комплексирования отдельных поисковых методов в условиях различных геологических обстановок. Приведены методы количественной оценки выявляемых прогнозных ресурсов и критерии геолого-экономической оценки потенциальных месторождений. Показано, что прогнозные ресурсы, как продукт завершающих поисково-оценочных работ, являются важнейшим оптимальным фактором выполняемых геологоразведочных работ.

2.1. Геологические основы поисков месторождений полезных ископаемых

2.1.1. Поисковые критерии месторождений полезных ископаемых

Основой эффективных поисков и прогнозирования полезных ископаемых является знание прогнозно-поисковых критериев и поисковых признаков промышленного оруденения изучаемых территорий и структур. **Поисковыми критериями называют совокупность геологических факторов, определяющих условия образования и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре.** Поисковые критерии отражают предшествующие геологические процессы рудообразования. Они способствуют познанию рудообразующих процессов и тем самым создают условия для обнаружения промышленных скоплений полезных ископаемых. Выявляемые закономерности размещения рудных объектов служат определяющими предпосылками для прогноза и поисков промышленных месторождений.

Поисковые критерии могут быть универсальными, выраженными повсеместно, региональными, свойственными отдельным крупным структурам земной коры, и локальными, проявляющимися в пределах определенных рудоносных территорий – рудных районов, рудных узлов, рудных полей и месторождений. При выявлении поисковых критериев на той или иной территории анализируют рудоконтролирующие факторы – стратиграфические, литологические, литолого-фациальные, структурные, магматические, геоморфологические. Учитываются данные формационного

анализа геологических образований региона и эрозионный срез рудоносных структур.

Стратиграфические критерии основаны на устойчивых связях оруденения с определенными уровнями и типами геологического разреза земной коры. Эти критерии наиболее важны при прогнозировании и поисках осадочных, вулканогенно-осадочных, метаморфогенных, стратиформных и колчеданных месторождений. Многие полезные ископаемые тесно связаны с отложениями определенного возраста и не встречаются или исключительно редко обнаруживаются в геологических разрезах других минерагенических эпох (табл. 6).

Таблица 6

**Распределение запасов металлов (с учетом произведенной добычи)
по минерагеническим (металлогеническим) эпохам, в % (по И.Г. Маганьяну)**

Минерагеническая эпоха	Fe	Mn	Cr	Ti	Ni	Mo	W	Sn	Cu	Pb + Zn	Au	Ag
Докембрийская	75	25	20	80	70	?	?	10	25	10	70	-
Каледонская и герцинская	5	-	60	20	10	5	20	20	10	30	5	?
Киммерийская	15	5	10	-	20	5	70	60	5	30	15	5
Альпийская	5	70	10	-	-	90	10	10	60	30	10	95

Для таких осадочных полезных ископаемых как уголь, железные и марганцевые руды, фосфориты, бокситы, соли эти закономерности выдерживаются в пределах всего земного шара. Они являются универсальными и отражают продуктивные периоды рудообразования. К числу универсальных критериев относятся общеизвестные связи крупнейших железорудных полей – бассейнов мира с разрезами толщ раннего протерозоя – железистые кварциты Кривого Рога, Курской Магнитной аномалии, провинции Минас-Жерайс, Лабрадор и другие; стратиформных медных и полиметаллических руд в отложениях протерозоя – Удоксан, Сардана, Горевское и карбона-триаса – Джесказган, Предсудетское, Верхняя Силезия; месторождения марганца в осадочных толщах палеогена-неогена – Чиатурское, Никопольское и другие. Углистые сланцы известны с нижнего силура, а угли только с девона, поскольку они образовались из бурно произраставшей в тот период растительности.

Региональные стратиграфические критерии отражают данные, свидетельствующие о приуроченности оруденения к определенным стратиграфическим уровням в изучаемом регионе. Примером может служить приуроченность медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений к разрезам вулканогенно-осадочных толщ протерозоя в Енисейском крае и в Северном Прибайкалье, раннего кембрия в Восточной Тыве и Западном Забайкалье, силура-девона на Урале и среднего-верхнего девона в Юго-Западном Алтае и Центральном Казахстане (см. рис. 7, 17, 21, 37, 40, 70, 71). В.И. Красников [1965] выделил прямые региональные стратиграфические критерии, связанные с приуроченностью оруденения к определенным частям разреза, и косвенные, указывающие на наличие в геологическом разрезе района стратиграфически выдержанных элементов, благоприятных для рудолокализации. К числу косвенных критериев относятся:

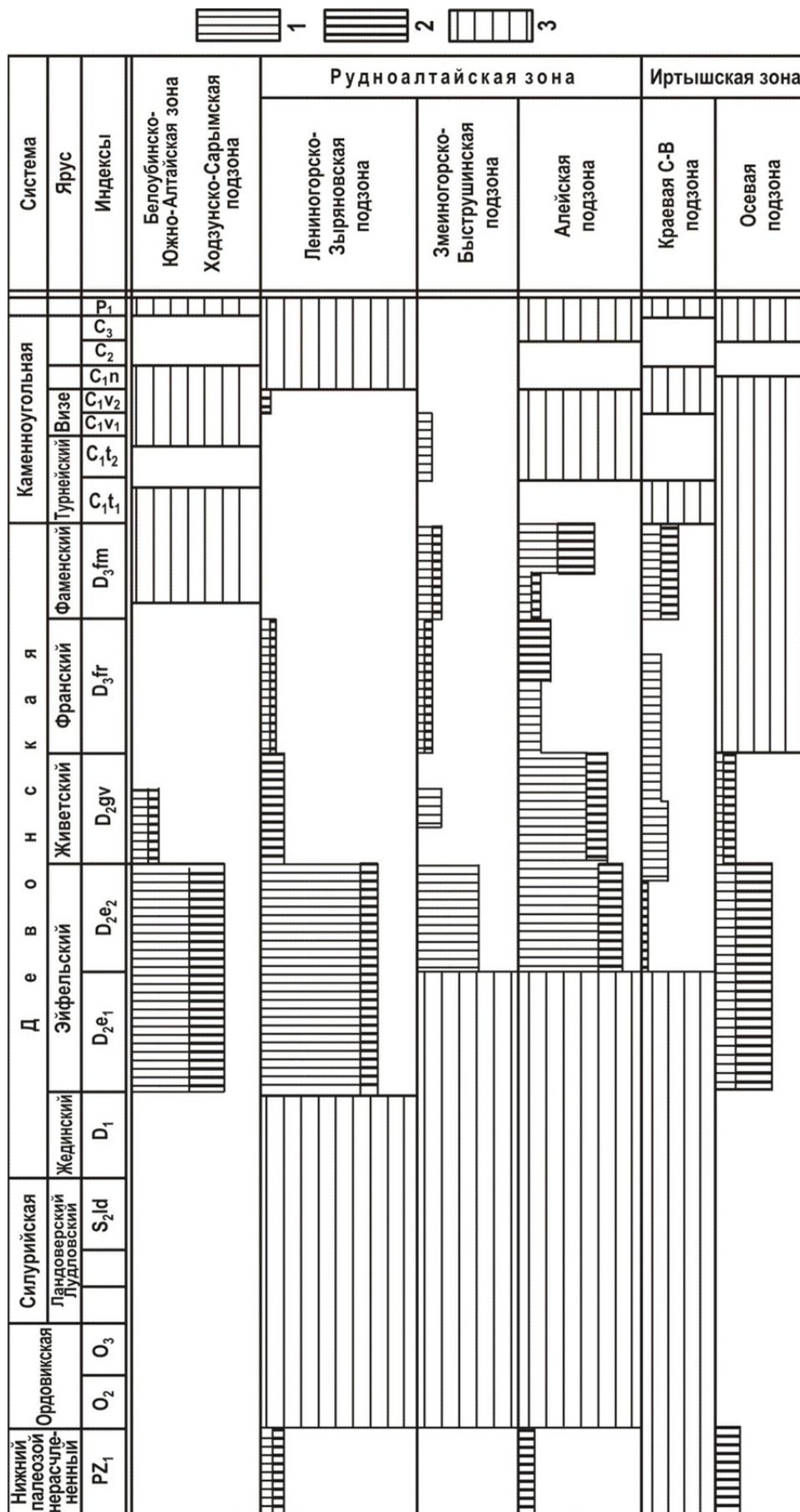


Рис. 70. Положение полиметаллического и медного оруднения и медного оруднения в стратиграфическом разрезе Юго-Западного Алтая
(по Н.Л. Бубличенко и др.):

1-2 – оруднение (1 – полиметаллическое, 2 – медное); 3 – перерывы в осадконакоплении

- 1) региональные перерывы в осадкообразовании, благоприятные для возникновения осадочных месторождений железа, марганца, бокситов;
- 2) стратиграфически выдержанные горизонты пород, благоприятные для рудоотложения – углеродистые сланцы, известняки, песчаники и другие породы «критических горизонтов»;
- 3) стратиграфически выдержанные горизонты экранирующих пород, под которыми могут формироваться руды – кремнистые горизонты, лавовые потоки и т.п.

Локальные стратиграфические критерии отличаются ограниченной площадью проявления в рудном поле, рудном узле, рудном районе. Они отвечают местным рудоносным уровням, стратифицированным экранам, «критическим горизонтам», благоприятным для локализации оруденения, и другим элементам слоистой анизотропии того или иного геологического разреза (рис. 40, 70, 71).



Рис. 71. Положение колчеданного оруденения в литолого-стратиграфическом разрезе Кызыл-Таштыгского рудного поля

(по В.С. Кузубному и др.):

1-6 – лавы и туфы (1 – миндалекаменные базальты, трахибазальты, андезибазальты, спилиты, диабазы, 2 – то же, подушечные, 3 – дациты, трахидациты, 4 – риодациты, 5 – туфы основного состава, 6 – туфы кислого состава); 7 – дациты, риодациты, риолиты экструзивной и субвулканической фации; 8,9 – поздние субвулканические интрузии (8 – диабазы, габбро, габбро-диабазы, габбро-нориты, 9 – риолитовые, риодацитовые, трахидацитовые порфиры, гранит-порфиры); 10,11 – породы дайковой фации (10 – диабазы, микродиориты, диабазовые и диоритовые порфириты, лампрофиры, 11 – риолитовые, риодацитовые порфиры, гранит-порфиры); 12-17 – вулканогенно-осадочные породы (12 – туффиты, 13 – вулканомиктовые песчаники, алевропесчаники, 14 – углеродисто-кремнистые, карбонатно-глинисто-кремнистые сланцы, алевролиты, 15 – известняки, мраморы, 16 – гематито-кремнистые породы, 17 – горизонты рудокластов и их номер); 18-20

– гидротермалиты и руды (18 – кварциты, кварц-серицитовые, хлорит-талъковые, хлорит-доломитовые гидротермалиты, 19 – кварц-баритовые и барит-полиметаллические жилы, 20 – колчеданно-полиметаллические руды); 21 – метаморфические сланцы

Литологические и литолого-фациальные критерии базируются на выявлении и использовании тесных связей полезных ископаемых с осадочными и вулканогенно-осадочными формациями (комплексами) определенного состава и их типич-

ными литофациями. Наиболее эффективными эти критерии оказываются при поисках и прогнозировании осадочного, вулканогенно-осадочного и стратиформного телетермального оруденения. Примеры повышенной рудоносности известны для многих типов пород в составе стратифицированных формаций: углеродисто-кремнистых осадочных, вулканогенно-осадочных, рифогенных известняков, доломитов; терригенных, битуминозных известняков в карбонатных толщах. Морские прибрежные литофации терригенных пород нередко содержат промышленные скопления железа, марганца, бокситов. Литофации углеродистых, углеродисто-кремнистых сланцев, туффитов, вулканомиктовых пород характеризуются послойно вкрапленной сульфидной минерализацией, нередко образующей промышленные уровни колчеданных рудных районов, рудных узлов, рудных полей (см. рис. 40, 70). Во многих металлоносных провинциях проявлена промышленно важная золотонность–платиноносность стратифицированных углеродистых горизонтов черносланцевых формаций (см. рис. 28).

Установлена связь рудоносных литофаций с палеогеографическими обстановками стратифицированных толщ земной коры. Например, в условиях тропического климата в пенепленизированных частях континентов формируются мощные коры выветривания с месторождениями бокситов, железных и марганцевых руд. В зонах расчлененного рельефа происходит лишь незначительное накопление бокситов, железных руд и угля. В условиях засушливого климата на континентах с расчлененным рельефом слабо накапливаются карбонаты, сульфаты, галоидные соли и не образуются богатые соленосные образования. В зонах лагун, напротив, активно отлагаются гипс, соли, доломит, на шельфе формируются органогенные известняки, кремнистые осадки, горючие сланцы, а в открытом море – кремни, горючие сланцы. Все это способствует образованию продуктивных горизонтов пород экзогенного типа.

Для эндогенных месторождений литолого-фациальные факторы имеют ограниченное значение. Литологический контроль эндогенного оруденения определяется, прежде всего, физико-механическими свойствами и химическим составом пород. Это обусловлено способностью гидротермальных металлоносных растворов к химическому взаимодействию со средой. В процессе такого взаимодействия растворов с боковыми породами происходит изменение состава и свойств этих гидротерм с замещением части компонентов вмещающих пород рудными минералами. Наиболее интенсивно такие процессы осуществляются при метасоматозе. Из физико-механических свойств пород ведущее значение имеют пористость, хрупкость и плотность. Хрупкие породы – кварциты, песчаники, эффузивы, базиты-гранитоиды при деформациях способны к интенсивной трещиноватости с возникновением горизонтов пород с удельной трещиноватостью до 50 и более трещин на 1 м. Пористые породы – рыхлые туфы, скарны, песчаники, гравелиты, конгломераты, кавернозные известняки, измененные интрузивные породы характеризуются эффективной пористостью до 7–10% и более. Это существенно облегчает циркуляцию металлоносных растворов и способствует накоплению руд. Поэтому такие породы подвергаются избирательному рудоотложению с возникновением богатых рудных тел в зонах оптимальной трещиноватости и пористости пород. Например, максимальные скопления золото-сульфидных руд установлены в зонах интенсивной трещиноватости (с эффективной пористостью 7-10%) среди скарнов и вмещающих пород ряда регионов Кузнецкого Алатау, Алтая, Восточного Саяна. В штокверковых золоторудных месторождениях отмечается приуроченность богатых рудных столбов к зонам интен-

сивной трещиноватости габбро-диоритов, гранитоидов, эффузивных пород. Здесь максимальные скопления кварцево-рудных прожилков наблюдаются в породах с количеством трещин до 50–70 на 1 м.

В других случаях устанавливается приуроченность оруденения под экранами более плотных и пластичных пород – глинистых сланцев, эффузивов, кварцитов. Экранирующая способность перекрывающих пластов плотных пластичных пород усиливает взаимодействие металлоносных гидротерм со средой под экранами и существенно повышает интенсивность рудообразования (рис. 40). Благоприятны для избирательного замещения рудными минералами доломиты, битуминозные известняки, карбонатно-углеродистые песчаники, гравелиты, образующие благоприятные «критические горизонты», в которых формируются рудные тела и рудные столбы. Химически пассивными оказываются горизонты глинистых пород.

Связь оруденения с составом вмещающих пород проявляется и в иных вариантах. Например, на контактах гранитоидных интрузий с карбонатными породами образуются магнезиально-известковые рудоносные скарны (с Au, Te-Bi, Pb-Zn-Cu, Cu, Sn минерализацией). В других случаях мусковитоносные пегматиты обычно залегают среди кварцево-полевошпатовых кристаллических сланцев. Пегматиты, расположенные среди микроклиновых или амфиболовых пород, промышленных концентраций мусковита не содержат. Другими примерами могут служить месторождения меди в пестроцветных толщах, стратиформные месторождения полиметаллов, ртути, приуроченных к горизонтам песчаников среди терригенных толщ.

Для целей поисков и прогнозирования месторождений полезных ископаемых литологические критерии используются как литолого-фациальные, отражающие специфику локализации рудоносных формаций и связи оруденения с определенными литофациями пород. Литолого-фациальные критерии, наряду со стратиграфическими, являются определяющими при поисках и прогнозировании осадочных и вулканогенно-осадочных, стратиформных месторождений железа, марганца, кор выветривания, полиметаллов, золота и россыпей.

Магматические критерии предполагают наличие генетических или парагенетических связей оруденения с магматическими телами – с плутонами, экструзивными, субвулканическими телами, поясами даек и малых интрузий. В соответствии с этими представлениями рудное вещество выносится из глубин в верхние горизонты земной коры и на поверхность магматическими расплавами и сопровождающими их флюидами. Допускается заимствование рудного вещества из вмещающих пород флюидами до 25–30% от общего количества руды.

Основными факторами магматического оруденения считаются следующие:

- 1) связь тех или иных эндогенных месторождений с определенными типами изверженных и вулканоплутонических пород;
- 2) закономерное размещение месторождений по отношению к магматическим телам.

Особое значение при прогнозе и поисках промышленного оруденения имеет оценка глубины становления и уровня эрозионного среза рудообразующих магматитов и прилегающих к ним структур.

Генетические связи характерны прежде всего для магматических месторождений, ассоциирующихся с ультраосновными, основными и щелочными породами. К таким рудным объектам относятся месторождения хромитов, титана, медно-никелевых сульфидных руд с платиноидами, золотом, алмазов, циркония, гафния,

тория, апатита, редких земель. Например, дунит-перидотитовые интрузивы несут месторождения хромитов с платиноидами; габбро-дунит-гарцбургитовые содержат титаномагнетитовые, платиновые руды; кимберлиты-лампроиты – месторождения алмазов, а щелочно-ультраосновные интрузивы – апатитовые, тантало-ниобиевые, редкоземельные руды и алюминиевое сырье – нефелиновые сиениты, уртиты. Большинство таких месторождений располагаются в пределах интрузивных массивов. В этом случае качественно по минеральному составу руды не отличаются от состава вмещающих интрузивных пород. Парагенетический анализ минералов магматитов и руд указывает на близко-одновременное их образование еще в магматический этап. Признаками таких генетических связей магматитов и руд являются:

- 1) приуроченность месторождений к интрузивам, а магматитов и руд – к единым структурам;
- 2) размещение руд в интрузивных телах и их эндо- и экзоконтактах;
- 3) общность фациально-глубинных условий образования магматитов и руд;
- 4) близость минерального состава руд и магматических пород;
- 5) сближенное по времени образование минералов интрузивных пород и руд;
- 6) петрохимические и геохимические признаки общности интрузивных пород и руд;
- 7) одинаковая степень метаморфизма магматических пород и руд.

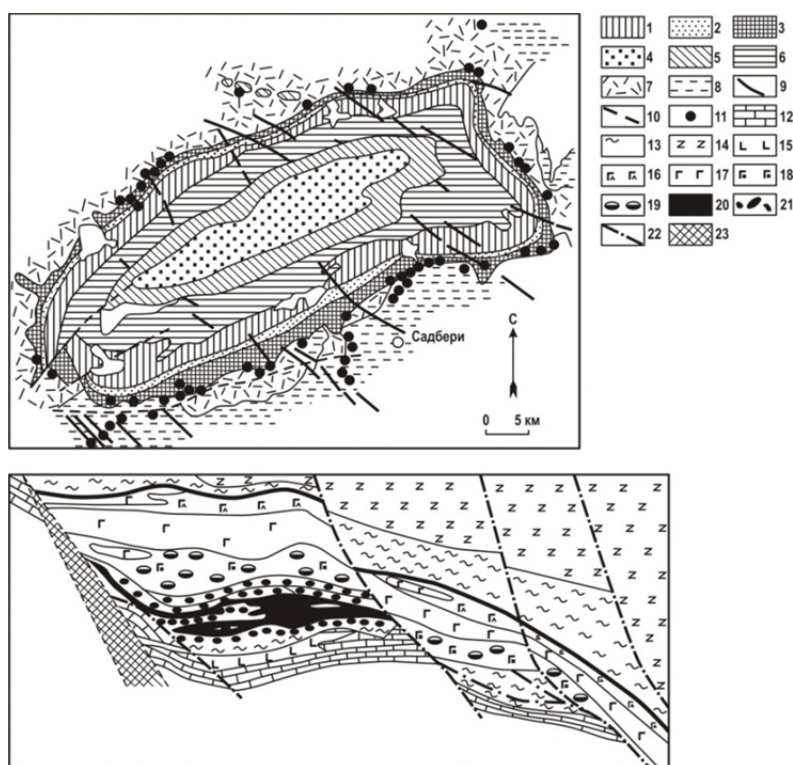


Рис. 72. Размещение сульфидных медно-никелевых месторождений и руд в расслоенных массивах габбро-норитовой и трапповой формаций:

а – схематическая геологическая карта Садбери (Канада), по Ф. Гранту и др.; б – распределение оруденения в Талнахском интрузиве (Норильский район), по В.Дистлеру и др.; 1 – микропегматиты, 2 – кварцевое габбро, 3 – нориты, кварцевые диориты, 4 – чилисфордские песчаники, 5, 6 – породы формации Онвантин (5) и Онапинг (6), 7 – граниты и гнейсы, 8 – породы гуронской серии, 9 – дайки оливковых диабазов, 10 – разломы, 11 – сульфидные медно-

никелевые месторождения; 12 – сульфатно-карбонатные и карбонатные отложения среднего девона-раннего карбона, 13 – терригенные песчано-глинистые и угленосные породы среднего карбона-перми, 14 – вулканогенные образования верхней перми-нижнего триаса, 15 – силлы долеритовые, 16-18 – дифференциаты Талнахского интрузива (16 – габбродиориты, габбродолериты, лейкократовые габбро, 17 – габбродолериты безоливиновые, оливиновые, эгирин-биотитовые, 18 – габбродолериты пикритовые, троктолитовые, такситовые, контактовые), 19-21 – медно-никелевые руды (19 – вкрапленные, 20 – массивные, 21 – прожилково-вкрапленные), 22 – тектонические нарушения, 23 – главный шов Норильско-Хараелахского разлома

Среди магматических месторождений известны ликвационные и кристаллизационные их типы. При поисках и прогнозировании промышленного оруденения важнейшее значение имеет степень дифференцированности рудоносных магматических расплавов. Наиболее продуктивными оказываются расслоенные, концентрически зональные и многофазные интрузивы. Примерами расслоенных массивов рудоносного типа являются объекты Бушвелда, Садбери, Норильска; многофазные рудоносные массивы центрального типа Кольского полуострова (Хибинский, Ловозерский), Сибири (Гулинский, Кондерский); карбонатитовые месторождения железа, редких, благородных и редкоземельных элементов (Ковдор на Кольском полуострове, Люлекоп в ЮАР) (рис. 44, 72, 73).

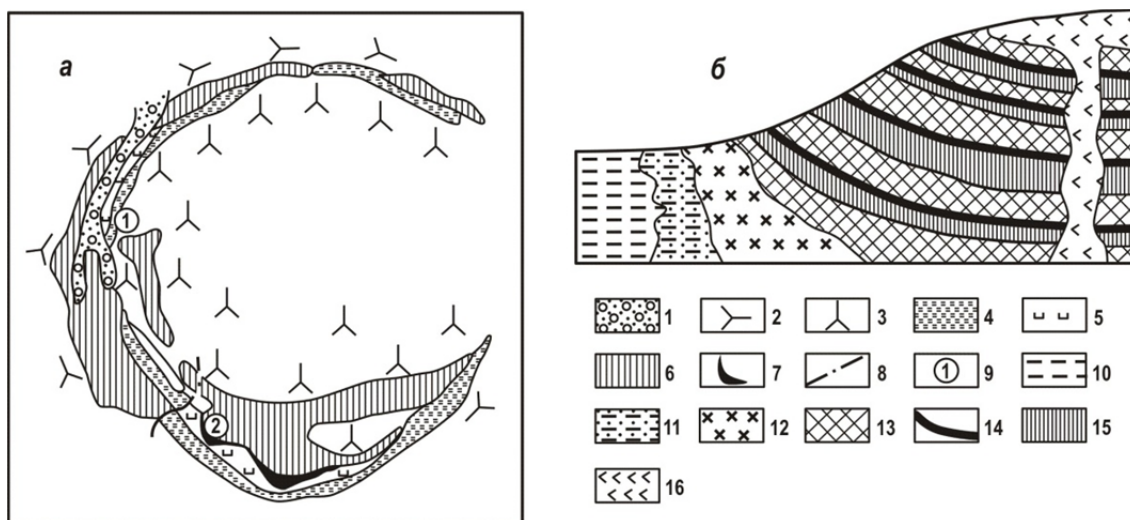


Рис. 73. Размещение руд в многофазных щелочных массивах центрального типа:

а – схема геологического строения ийолит-уртитовой дуги Хибинского массива, по Н.А.Елисееву; *б* – схематический геологический разрез стратифицированных нефелиновых сиенитов Ловозерского массива, по В.И. Смирнову и др.: 1 – четвертичные отложения, 2 – хибиниты, 3 – ловчорриты, 4 – трахитоидные ийолиты, 5 – массивные уртиты, 6 – рисчорриты, 7 – апатитовые руды, 8 – разрывные нарушения, 9 – месторождения Куэльпор (1) и Юкспор (2); 10 – гнейсы архея, 11 – фениты, 12 – пойкилитовые и порфиroidные нефелиновые сиениты, 13–15 – стратифицированный комплекс (13 – фойяиты, 14 – рудные лопаритовые лувяриты, 15 – уртиты), 16 – эвдиалитовые лувяриты

Послемагматические месторождения эндогенного класса связаны со становлением гранитоидных плутонов, малых интрузий, даек и вулканитов. К ним относятся редкометалльные пегматитовые, медно-молибден- и золото-медно-порфировые месторождения; скарновые магнетитовые, золото-платиновые, касситеритовые, полиметаллическисульфидные; грейзеновые и кварцево-сульфидные жильные золоторудные, связанные с гранитами и гранодиорит-плагиогранитными интрузиями; колчеданные и полиметаллические – с вулканитами; гидротермальные халькофильные (Pb, Zn, Cu, Bi, Te, Ag, Au) и литофильные (W, Mo, Sn) – с гранитоидами повышенной основности, малыми интрузиями и дайками гранодиорит-диоритов, лампрофиров, монцонитов, сиенитов, гранит- и гранодиорит-порфиров. Преобладающая часть рудных тел размещается за пределами рудогенерирующих интрузий, что существенно снижает значимость связи оруденения с интрузиями. Для доказательства

парагенетической связи данных месторождений с магматическими процессами используются петрохимические, геохимические, петроструктурные особенности интрузивов, эффузивов и их эндо-экзоконтактовых ореолов – автометасоматитов и контактовых метаморфитов и метасоматитов. Все это существенно уточняет прогнозы, поиски и оценку ожидаемого оруденения (рис. 60, 66, 74–77).

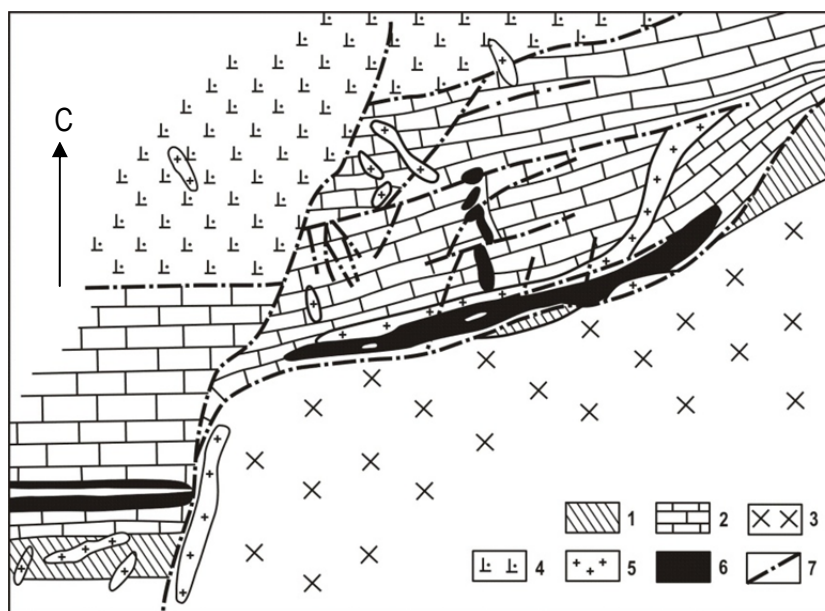


Рис. 74. Размещение месторождений Алтын-Топканского рудного поля в тектонически осложненных контактах гранодиоритового массива
(по В.Ф. Чернышеву):

1 – метаморфические сланцы, 2 – мраморизованные известняки, 3 – гранодиориты, 4 – андезитовые, дацитовые порфириды, 5 – дайки различного состава, 6 – рудоносные скарны и скарноиды полиметаллических месторождений Алтын-Топкан (1) и Чалата (2), 7 – разрывные нарушения

Пространственное расположение и строение месторождений, генетически связанных с интрузивами и эффузивами, зависят от формы и характера поверхности plutons, их размера, строения, глубины становления и уровня эрозионного среза. При поисках и прогнозировании месторождений полезных ископаемых, связанных со становлением основных и ультраосновных интрузий, важное значение приобретают формы интрузивов, состав, строение, степень дифференциации магматитов, их структурные особенности и характер дна интрузивных тел. Этими факторами и определяются прежде всего закономерности размещения сульфидных медноникелевых, титаномагнетитовых, хромитовых рудных залежей, апатитовых и магнетит-редкоземельных с золотом и платиноидами в карбонатитах (рис. 72, 73). При поисках и прогнозировании месторождений, связанных с кислыми и средними по составу интрузиями, существенное значение имеют резкие изгибы контактов интрузивов, их осложнения разрывами, зонами трещиноватости, крупными апофизами магматитов. Вдоль таких контактов размещаются пегматитовые, метасоматические залежи, жильно-штокверковые тела сульфидных, молибден-медно-вольфрам-порфирировых, скарновых и гидротермально-жильных золотых, золото-платиноидно-редкометал-

льных руд (рис. 75, 76) Важное прогнозно-поисковое значение имеют площади развития рудоносных малых интрузий, дайковых поясов, где рудные месторождения размещаются в одних и тех же структурах, что и магматические тела (рис. 72, 76–79). Нередко руды оконтуривают штоки и дайки, накладываются на них и образуют кольцевые штокверки или серии жильных свит на контактах и внутри даек в трещинах скола и отрыва (рис. 49, 64, 68, 69).

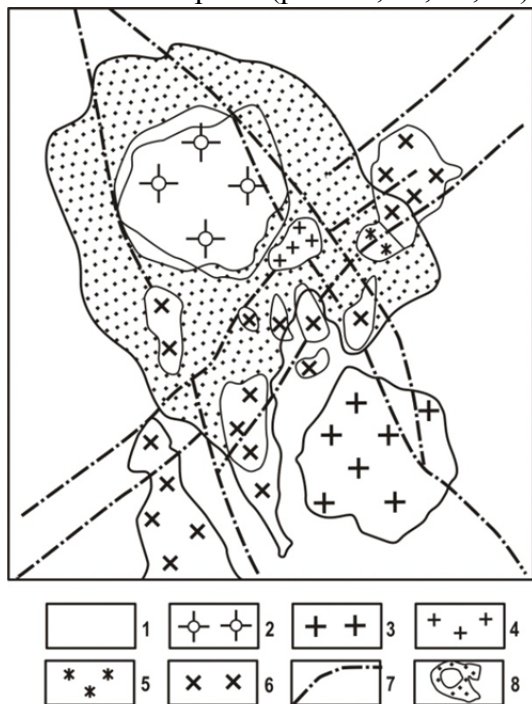
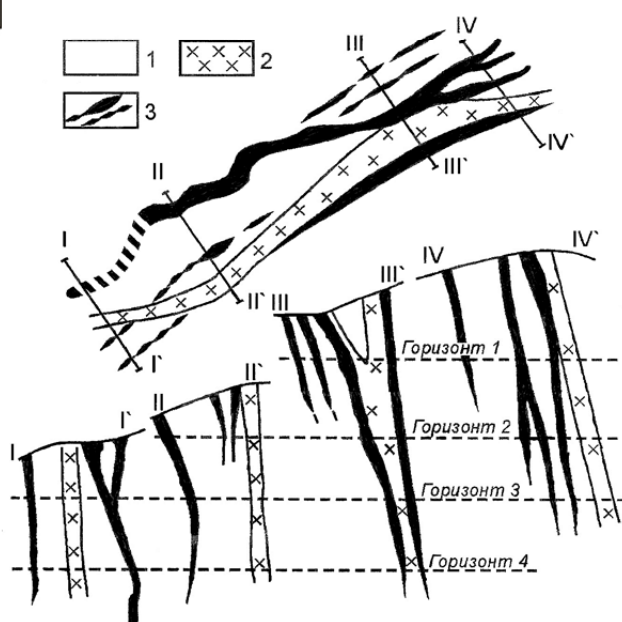


Рис. 76. Морфология рудных тел и контроль их дайками лампрофиров и трещинами на Депутатском оловорудном месторождении (разрезы и план жилы 34 на горизонте 2)
(по Б. Флерову):

1 – вмещающие песчано-сланцевые породы, 2 – лампрофиры, 3 – рудные жилы

Рис. 75. Схема геологического строения Ипчульского молибденового месторождения
(по Г.И.Шведову):

1 – вмещающие породы (порфириты, габбро-диабазы); 2-4 – граниты порфировидные (2), крупно-средне-зернистые (3), мелкозернистые (4); 5 – кварцевые порфиры, гранит-порфиры; 6 – диориты, гранодиориты; 7 – разрывные нарушения; 8 – минерализованная зона (контур рудного штокверка)



Закономерное размещение рудных месторождений по отношению к магматическим телам наиболее отчетливо проявляются в зональности оруденения вокруг интрузивов. Например, на Корнуольских месторождениях в Англии по мере продвижения в стороны от гранитного плутона оловянное оруденение в гранитах сменяется вольфрам-оловянным, затем медно-сульфидным в экзоконтактах и никель-кобальт-арсенидно-урановым, полиметаллическим, сурьмяно-сульфидным в удаленном экзоконтакте. В округе Тинтик США в зоне экзоконтакта амазонитового

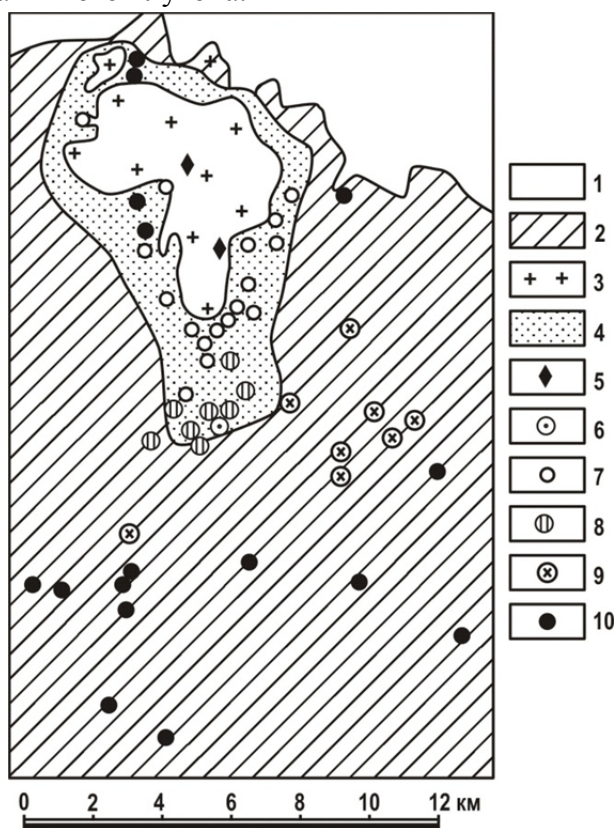
штока установлены закономерно сменяющие друг друга медно-мышьяковые, медно-сульфидные и сульфидно-свинцово-серебряные месторождения. В округе Бингхем США вокруг гранитных штоков определена последовательная смена медно-сульфидных месторождений медно-цинково-сульфидными и, наконец, серебро-свинцово-сульфидными рудами. В.И.Смирнов охарактеризовал гранитный массив в Таласском Алатау, внутри и вокруг которого полукольцом расположились семь рудных зон:

- 1) пегматитовые и кварцево-флюоритовые жилы с бериллом;
- 2) скарны с шеелитом, молибденитом, арсенопиритом и висмутином;
- 3) пирротиновые и халькопиритовые жилы;
- 4) арсенопиритовые рудные тела;
- 5) полиметаллически сульфидные проявления;
- 6) кварцево-карбонатные жилы с халькопиритом, галенитом;
- 7) безрудные кварцевые жилы (рис. 77).

Причины такой зональности разнообразны. Но главную роль, вероятно, играли изменение состава рудообразующих растворов во времени, реализованные на фоне геотермического поля остывающего гранитного плутона.

Рис. 77. Зональное размещение месторождений вокруг гранитного массива (по В.И.Смирнову):

1 – третичные и четвертичные отложения, 2 – нижнепалеозойские породы, 3 – граниты, 4 – роговики, 5 – пегматитовые и кварцево-флюоритовые жилы с бериллом, 6 – везувияно-гранатовые скарны с шеелитом, молибденитом, арсенопиритом и висмутином, 7 – пирротиновые и халькопиритовые жилы, 8 – арсенопиритовые жилы, 9 – полиметаллические жилы, 10 – кварцево-карбонатные жилы с халькопиритом и галенитом



Глубина становления интрузивных тел различных комплексов оценивается на основе фациального анализа отдельных интрузивов. Выделяются поверхностная (эффузивно-покровная), приповерхностная (субвулканическая, до 0,5--1 км), гипабиссальная (2–3 км), мезоабиссальная (3–5 км), абиссальная (более 5 км) фации магматических пород. Наиболее продуктивными оказываются магматиты субвулканической–гипабиссальной (халькофильные металлы и руды золото-серебряной формации, рис. 78, 79) и мезоабиссальной–абиссальной (литофильные, редкометалльные, комплексные золото-платиноидно-редкометалльные (рис. 75, 78) фации.

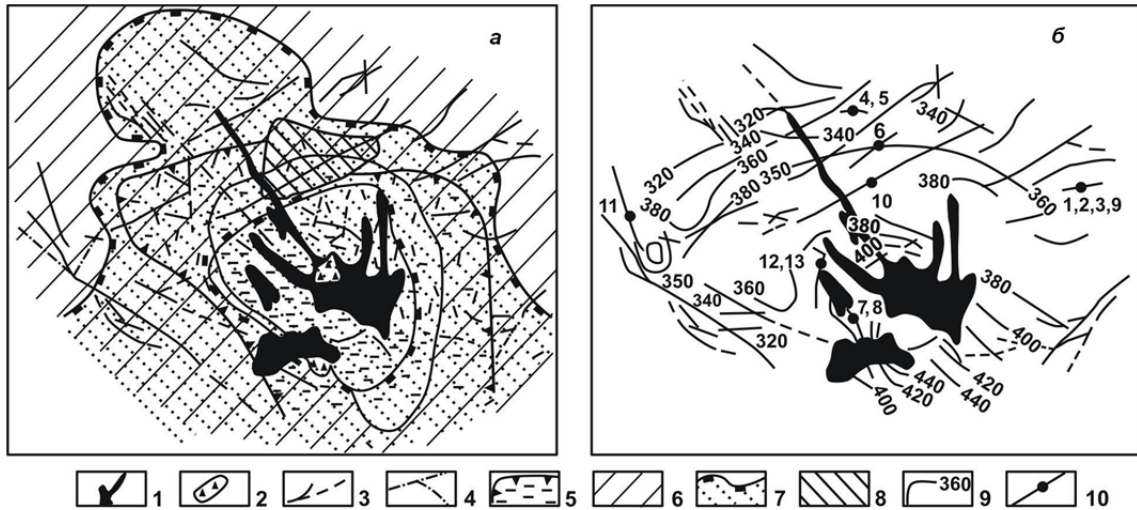


Рис. 78. Схема минеральной (а) и температурной (б) зональности Дарасунского месторождения (а – по Д.А. Тимофеевскому, 1972; б – по Ю.В. Ляхову, 1975):

1 – тела Дарасунской каркасной интрузии гранодиорит-порфиров; 2 – эксплозивные брекчии; 3 – золотоносные кварц-сульфидные жилы; 4 – тектонические нарушения; 5-8 – контуры преимущественного распространения минеральных ассоциаций: 5 – кварц-турмалиновой, 6 – пирит-арсенопиритовой, 7 – галенит-сфалеритовой, 8 – кварц-сульфоантимонитовой; 9 – изотермы, град; 10 – точки опробования (данные авторов)

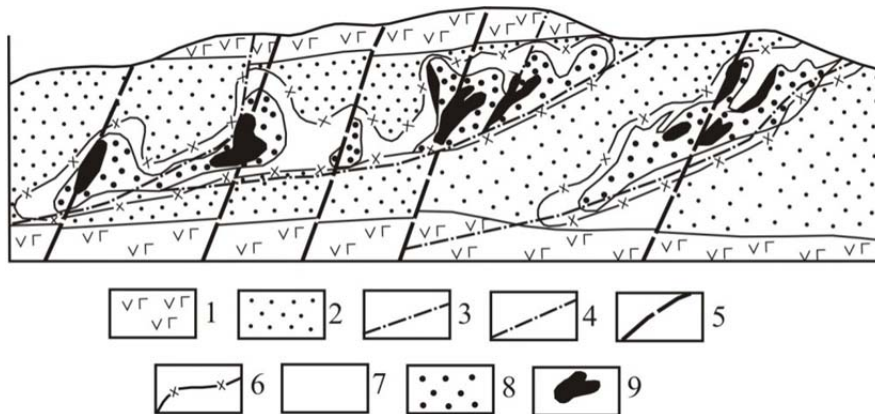


Рис. 79. Продольная вертикальная проекция Агинского золото-серебряного месторождения Камчатки (по Б.В. Узману).

1 – покров андезит-базальтов; 2 – туфы андезито-базальтов; 3 – крупные пологие разрывы; 4 – мелкие разрывы; 5 – узкие зоны трещиноватости; 6 – контуры рудных столбов; 7-9 – возрастающие уровни по концентрации золота в рудных столбах.

Для оценки перспектив рудоносности гранитоидных массивов В.И.Смирнов предлагает выделять три типовых уровня их эрозионных срезов.

1. Эрозионный срез непосредственно над интрузивом (надинтрузивный уровень) – наличие интрузива предполагается на глубине по развитию даек, продуктов контактового метаморфизма и метасоматоза, гидротермально измененных вмеща-

ющих пород; на этом уровне возможны месторождения свинцово-цинковых, медных и сурьмяно-ртутных сульфидных руд;

2. Эрозия срезает верхнюю часть интрузива (мелкий срез) – на эрозионной поверхности наблюдается чередование полос, сложенных интрузивными вмещающими породами; развиты послемагматические месторождения кварцево-золото-сульфидного, кварцево-полиметаллическисульфидного типов, в плане размещаются зонально относительно интрузива.

3. Значительный (глубокий) эрозионный срез интрузивов, где менее вероятно нахождение эндогенных месторождений кварцево-олово-вольфрамового, кварцево-редкометалльного типов, связанных со становлением гранитоидной интрузии.

Из других магматических критериев важное поисковое значение имеют рудоносные взрывные и взрывно-гидротермальные брекчии и трубки взрыва. Они образуются в тесной связи с процессами магмо-флюидной деятельности с рудогенезом. Содержат повышенные концентрации полезных компонентов железа, полиметаллов, золота, серебра, сурьмы, ртути и нередко создают рудные скопления промышленного значения.

Структурные критерии основаны на закономерностях размещения оруденения в определенных структурах разного типа и разных масштабов. При изучении структурных условий рудолокализации следует различать структуры, определяющие типовые геологические позиции рудных полей в пределах минерагенических провинций, рудных поясов, рудных районов; структуры, контролирующие размещение оруденения в рудных полях – структуры месторождений и рудных тел. К первому типу структур относятся глобальные и региональные рудоконтролирующие, рудоконцентрирующие – линеаменты и глубинные разломы, крупные складчатые и купольные структуры, вулканические и вулканотектонические сооружения, зоны смятия, разрывы и надвиги.

Трансконтинентальные и региональные линеаменты контролируют положение минерагенических провинций и крупнейших рудных поясов (рис. 80). В узлах пересечения таких структур поперечными трансформными разломами размещаются рудные районы, рудные поля и уникальные месторождения медноколчеданных и полиметаллических руд Алтая, Урала, Средней Азии, Забайкалья и других регионов (рис. 80, 81). Глубинные разломы и зоны «сквозного типа», проявляющиеся в пределах складчатых областей и на пересечении их с жесткими массивами. Они контролируют размещение структурно-формационных и минерагенических зон, внедрение интрузивов и определяют линейное, линейно-узловое размещение рудных узлов и рудных полей. Такие тектонические структуры свойственны регионам Рудного Алтая, Алтае-Саянской складчатой области, Западной Калбы, Тянь-Шаня и других (рис. 80–82).

Некоторые рудоносные глубинные разломы проявились преимущественно в фундаменте, то есть являются скрытыми. Они контролируют крупные минерагенические пояса и рудные зоны. Например, Туркестано-Алайский сурьмяно-ртутный пояс, Серебряный канал Южной Америки. Рудоконтролирующие разломы в разных регионах выражаются по-разному:

- в форме линейных зон прогибов (грабен-синклиналей), выполненных вулканогенными образованиями;
- поясами даек и штоков, которые прослеживаются на десятки–сотни километров и сопровождаются процессами гидротермального метасоматизма пород - альби-

тизации, калишпатизации, турмалинизации, серпентинизации, окварцеванию, сульфидизации, оруденению;

➤ цепочками крупных ксенолитов осадочных пород в полях гранитоидов. Они представляют собой тектонические пластины, между которыми в ослабленных зонах проявляются штоки диоритов, сиенитодиоритов, шлиры и дайки пегматитов, аплитов и полосы гидротермально измененных пород;

➤ зонами дробления, повышенной трещиноватости и рассланцевания пород;

➤ геофизическими аномалиями типа гравитационных ступеней и зон глубинного разуплотнения пород и др.

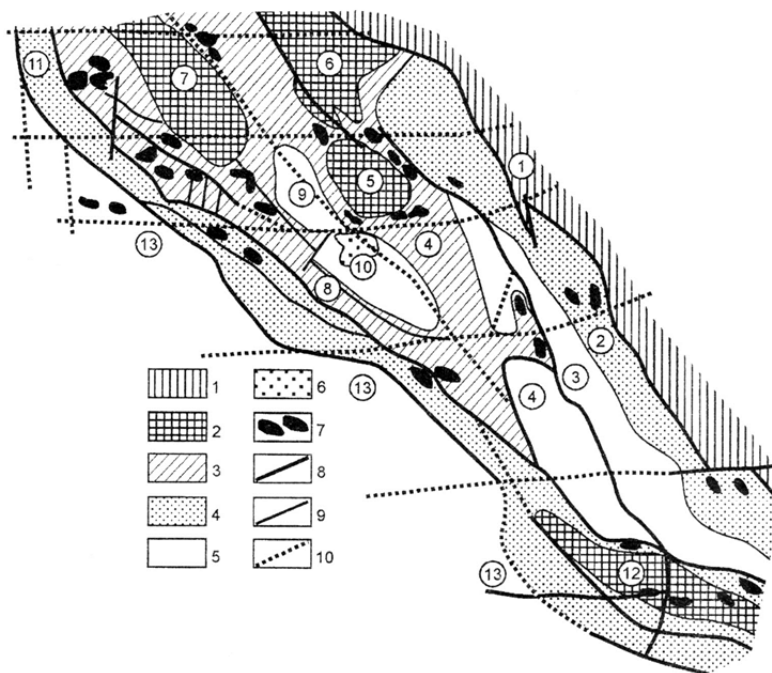


Рис. 80. Схема размещения месторождений полиметаллических руд в основных тектонических структурах Юго-Западного Алтая (по Н.Л. Бубличенко и др.):

1 – область каледонской складчатости; 2-6 – область преимущественно герцинской складчатости (2 – выступы каледонского складчатого комплекса в ядрах антиклинориев, 3 – антиклинории унаследованные, 4 – горст-антиклинории новообразованные обращенные, раннегеосинклинальные, 5 – синклинории новообразованные пазднегеосинклинальные и унаследованные, 6 – орогенные позднепалеозойские грабен-мульды); 7 – рудные поля и месторождения; 8 – краевые разрывы – основные ветви систем глубинных разломов, определившие положение границ наиболее крупных геотектонических блоков, соответствующих структурно-формационным зонам; 9 – региональные и крупные разрывы, сопряженные с глубинными разломами; 10 – скрытые поперечные (субширотные) глубинные рудоконцентрирующие разломы. Структуры (цифры на схеме): 1 – каледониды Горного Алтая, 2 – Холзунско-Сарымсактинский горст-антиклинорий, 3 – Белоубинско-Маймырский синклинорий, 4 – область погружения Синюшинского антиклинория и Ревнюшинский антиклинорий, 5 – ядерная часть Синюшинского антиклинория, 6 – Коргано-Холзунский блок Холзунско-Сарымсактинского горст-антиклинория, 7 – ядерная часть Алейского антиклинория, 8 – область погружения Алейского антиклинория, 9 – Быструшинский синклинорий, 10 – Сержихинская мульда, 11 – Иртышский горст-антиклинорий, 12 – ядерная часть Курчумо-Кальджирского горст-антиклинория, 13 – Калба-Нарымский синклинорий

Складчатые, террейновые и куполовидные структуры различных порядков определяют положение рудных поясов, рудных районов, рудных полей. Они контролируют размещение месторождений и рудных тел в структурах рудных полей. Особенно благоприятными для размещения рудных полей оказываются антиклинории, купола поднятий, компенсационные синклинали, изгибы складчатых структур по простиранию и падению, участки их пересечений крупными разломами и зонами трещиноватости. Соскладчатые сколовые сдвиги, надвиги чаще оказываются рудо-подводящими каналами. Они нередко выполняют роль рудоконтролирующих и рудолокализирующих структур (рис. 2, 4, 82). В пределах складчатых поясов, рудных полей наиболее благоприятными для оруденения оказались шарниры складок, зоны дробления и повышенной трещиноватости, межпластовые зоны срывов, крупные трещины и разрывы, узлы их пересечения между собой. Особо благоприятными для замещения рудно-метасоматическими комплексами оказались черносланцевые горизонты и карбонатные породы. Рудные поля полиметаллических руд чаще приурочены к периклинальным замыканиям, осложненных разрывами.

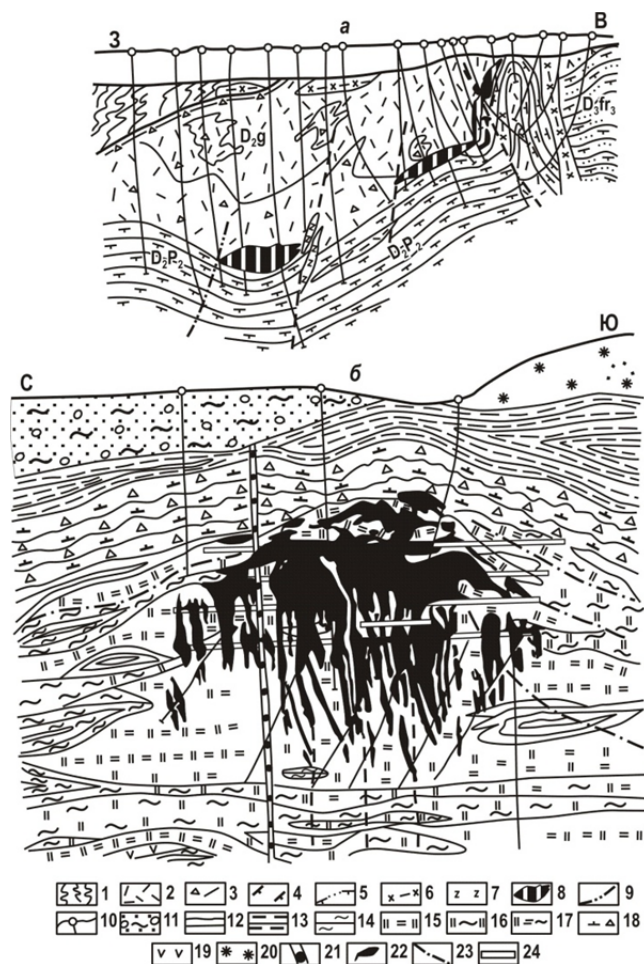


Рис. 81. Условия залегания и морфология рудных залежей калчеданно-полиметаллических месторождений в геологических структурах эвгеосинклинальных зон: *а* – геологический разрез Орловского месторождения (Рудный Алтай) (по И.Т.Сахарову); *б* – разрез Второй Юго-Западной залежи Риддер-Сокольного месторождения (Рудный Алтай) (по В.В.Попову).

1 – метаморфические сланцы, 2 – лавы и 3 – брекчиевые лавы кислого состава, 4 – глинисто-кремнистые сланцы и алевролиты, 5 – туффопесчаники и вулканомиктовые песчаники, 6 – гранодиорит-порфиры, 7 – диабазы и диабазовые порфиры, 8 – колчеданно-полиметаллические руды, 9 – разломы, 10 – скважины; 11 – рыхлые отложения, 12 – алевропелиты, 13 – известковистые алевропелиты, 14 – серицитизированные глинистые алевропелиты, 15 – микрокварциты, 16 – серицито-хлорито-кварцевые породы, 17 – серицитизированные микрокварциты, 18 – агломератовые туффиты смешанного состава, 19 – миндалекаменные плагиоклазовые порфиры, 20 – кварцевые альбит-порфиры, 21 – диабазы, диабазовые порфиры, 22 – полиметаллические руды, 23 – тектонические нарушения, 24 – горизонтальные горные выработки

Роль вулканических сооружений (вулcano-плутонических куполов, вулcano-тектонических депрессий, линейных вулканических зон) как структурных факторов отчетливо проявилась при формировании и размещении рудных полей в пределах

вулканических поясов и областей древнего и современного вулканизма – регионы Урала, Рудного Алтая, Восточной Тывы, Малого Кавказа, Охотско-Чукотского пояса, Камчатки, Курильских островов. На Северо-Востоке России рудные поля оловянно-вольфрамовых, золото-кварцево-сульфидных месторождений тяготеют к участкам антиклинально-синклинальных складок, прорванных гранитоидами, осложненных пересечениями разломами, зонами трещиноватости с полями гидротермальных альбититов-калишпатитов, березитов-лиственитов.

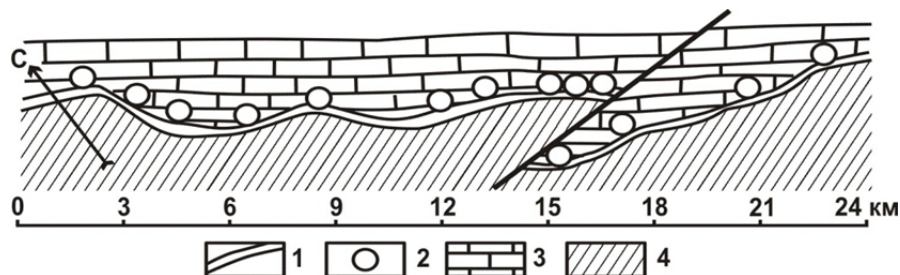


Рис. 82. Схема размещения ртутных залежей вдоль надвига (по В.И.Смирнову):
1 – надвиг, 2 – рудные залежи, 3 – известняки, 4 сланцы

Структурные факторы, определившие закономерности рудолокализации рудных полей и месторождений, многообразны. Для магматических месторождений (плутоногенная группа рудных полей) ведущую роль играют структуры рудовмещающих интрузивных тел – структуры расслоения интрузивов, контракционные, тектонические кольцевые и линейные разрывы. Они определили закономерное размещение рудных шпир, стратифицированных донных и многоярусных (риффы) залежей, узлов пересечения продольных и поперечных разрывов, зон трещиноватости. В результате возникали комбинированные субсогласные и секущие формы (рис. 72, 73). Рудные поля плутоногенно- и вулканогенно-тектонической группы характеризуются следующими закономерностями размещения оруденения:

- 1) кольцевыми, коническими, радиальными разломами, трещинами и узлами их пересечений, жерловыми структурами, структурами расслоения магматитов (рис. 78);
- 2) структурами апикальных и эндоконтактных зон интрузивов (рис. 77);
- 3) элементами и комбинацией элементарных структур вулканических и вулканотектонических сооружений (рудные поля вулканоплутонических центров, аппаратов, трубок взрывов, вулканических впадин);
- 4) контракционными и тектоническими трещинами (со штокверковыми и жильно-штокверковыми рудными полями в зонах повышенной трещиноватости пород).

В эндогенных рудных полях тектонической группы определяющее значение в рудолокализации играют разломы и трещины, зоны повышенной трещиноватости и расланцевания пород; узлы их пересечения и сочленения, а также согласные структуры слоистых толщ – шарниры складок, флексуры, зоны межпластовых срывов, сколов и зон дробления; пласты «благоприятных» пород, геологические экраны; комбинированные сочетания согласных структур с секущими и благоприятными для метасоматоза горизонтами черносланцевых, карбонатных пород (рис. 63, 81, 82). Для экзогенных месторождений рудоносными оказываются структуры слоистых

толщ с разной анизотропией: напластования различных пород, внутрiformационного расслоения, участков выклинивания компетентных пород, поверхности несогласий, рифовых построек и карстовых образований. Метаморфогенные рудные образования отличаются специфическими структурами метаморфических комплексов, включающих гранитно-гнейсовые купола, складки скалывания и течения, структуры будинажа, зоны повышенного рассланцевания.

Геоморфологические критерии основаны на пространственной связи месторождений полезных ископаемых с древними и современными формами рельефа. По отношению к рельефу все месторождения можно сгруппировать в две выборки – рудные объекты, сформированные в связи с формированием рельефа (они включают класс экзогенных месторождений), и рудные объекты, возникшие вне связи с рельефом (эндогенный класс месторождений). Поэтому геоморфологические критерии используются, прежде всего, для поисков и прогноза россыпей, продуктивных кор выветривания. Россыпные месторождения континентов разделяются на элювиальные, делювиальные, пролювиальные и аллювиальные. Наибольшее промышленное

значение имеют россыпи речных долин. Среди них различаются долинные и террасовые, а также русловые и косовые (рис. 83). Важное значение приобретают и ПМР.

Геоморфологические исследования в сочетании с палеогеографическим анализом оказываются весьма надежными при выявлении палеорельефа, древней речной сети и закономерностей размещения россыпных месторождений. Этому способствуют теоретические разработки Ю.А. Билибина, Н.А. Шило и других исследователей.

Ю.А. Билибиным разработано учение о типах эрозионных зон долин, которые характеризуются различной степенью вскрытия и сохранности россыпей. Он выделил следующие зоны россыпных объектов:

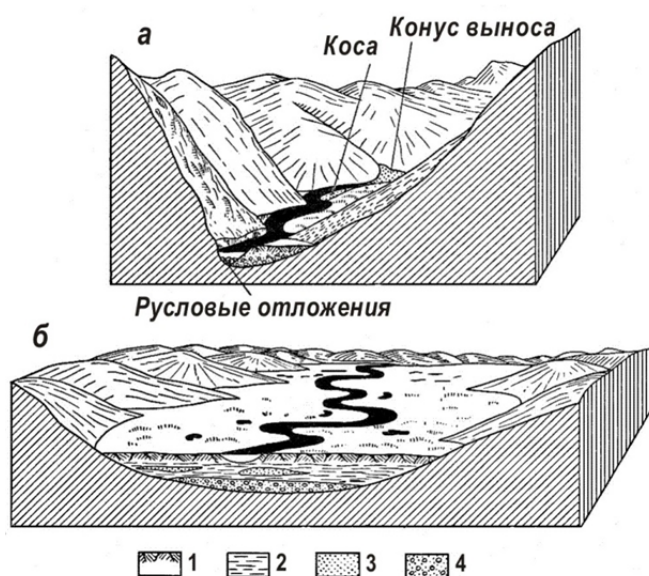


Рис. 83. Два типа гидрографической сети
(по М.И. Ицксону)

a – в стадии оживления; *б* – в стадии зрелости; 1 – растительный слой (торф); 2 – глины и илы; 3 – сортированный песок; 4 – галечники, неравномернoзернистые пески, гравий (рыхлый материал, подлежащий опробованию)

- 1) зона зрелых долин нового эрозионного цикла – включает долинные, иногда террасовые россыпи;
- 2) зона расширения долин – наиболее продуктивная для россыпей с постепенным преобразованием русловых россыпей в долинные;
- 3) зона углубления долин – содержит преимущественно террасовые россыпи;
- 4) зона зрелых долин старого эрозионного цикла характеризуется небольшими, но иногда богатыми русловыми и долинными россыпями.

Для выявления россыпных месторождений в условиях северных климатических зон существенное значение приобретает изучение ледниковых форм рельефа, контролирующих пространственное размещение россыпей.

Геоморфологический анализ используется также при поисках и прогнозировании древних россыпей и остаточных месторождений кор выветривания. Геоморфологические критерии в этом случае сочетаются с литологическими, магматическими, структурными и другими данными. Примерами могут служить остаточные силикатно-никелевые и бокситовые месторождения. Они формируются в условиях существенной пенеплинизации рельефа на месте базитов–гипербазитов с возникновением остаточных силикатно-никелевых концентраций промышленного значения. В контактах кислых или щелочных магматитов с осадочными породами при гипергенезе формируются обогащенные глиноземом породы с образованием бокситов.

Использование геоморфологических критериев для прогноза и поисков эндогенного оруденения весьма ограничено. Иногда положительные формы рельефа в форме хребтиков, куполовидных образований отражают собой зоны продуктивного окварцевания пород или рудоносные дайковые породы, рудоносные штоки гранитоидных, габброидных пород. В других случаях, напротив, зоны сульфидизированных пропилитов, лиственинов, березитов, аргиллизитов с продуктивной полиметаллической, золото-сульфидной, сульфидно-редкометалльной минерализацией в рельефе выражаются отрицательными формами – бороздами выветривания и т.п.

Формационные критерии предполагают наличие связей полезных ископаемых с определенными геологическими формациями или их составными частями – ассоциациями пород. Типовыми примерами могут служить устойчивые взаимосвязи медно-никелевых руд с габбро-норитовой и трапповой формациями платформ; медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений со спилит-базальтовой и риолит-базальтовой или спилит-кератофировой формациями эвгеосинклиналей; золоторудных и золото-платиноидных месторождений – с гранитоидной формацией повышенной основности орогенных структур; редкометалльных месторождений – с орогенной формацией слюдяных гранитов батолитового типа; месторождения медно-порфирирового и золото-порфирирового типов – с субвулканическими телами андезито-базальтовой и габбро-диорит-плагиогранитной плутонической формаций. Закономерное сочетание определенных типов месторождений с конкретными формациями определяется единством процессов магматизма и рудообразования. Некоторые геологические формации являются рудовмещающими или региональными геологическими экранами. При крупномасштабном, детальном прогнозировании и поисках исследователь чаще оперирует с составными частями формаций – с конкретными ассоциациями пород, выполняющими ту или иную роль в рудогенезе. Выявление этой роли и значимости формационных предпосылок конкретизирует прогнозные рекомендации и делает более объективными поисковые работы.

Не менее тесные взаимосвязи полезных ископаемых с определенными формациями свойственны классу экзогенных месторождений. Осадочные руды железа, марганца, бокситов, фосфоритов, каменной соли, углей, никеленосных кор выветривания, россыпей формировались одновременно с экзогенными геологическими формациями определенного типа.

При поисках и минерагеническом анализе рудоносных регионов важными факторами являются глубинность рудообразующих процессов и уровни эрозионно-

го среза рудоносных структур. Методика составления карт эрозионного среза рудоносных территорий разработана И.П. Кушнаревым. Она позволяет реконструировать геоморфологический облик региона на период рудообразования, показать положение палеоповерхности времени рудообразования в современных координатах и отразить в виде изогипс глубины последующей эрозии этих структур. Широко используются при изучении глубины образования и уровней эрозионного среза месторождений методы палеостратиграфических, палеофациальных и палеоструктурных реконструкций. Отмечаются следующие признаки, позволяющие оценивать уровень эрозионного среза рудоносных структур и вероятное продолжение оруденения на глубину:

1. Изменение морфологии рудных тел и структуры рудовмещающих трещин с глубиной – структурная зональность.
2. Изменение характера предрудных и околорудных метасоматических пород – метасоматическая зональность.
3. Изменение вещественного состава и количества руд на различных горизонтах.
4. Изменение физических и химических особенностей минералов с глубиной, отражающее смену условий рудообразования.
5. Зональность первичных геохимических ореолов месторождений и рудных полей, выделение надрудных, рудных, подрудных групп элементов.
6. Формационный облик пород и степень денудации рудоносных магматитов и метасоматитов.

Для определения глубины эрозионного среза рудоносных структур и выявления общего вертикального размаха оруденения необходимо знание особенностей размещения в этих интервалах типовых месторождений. Используется представление о вертикальной зональности таких типовых рудных объектов. Например, А.Д. Щеглов на примерах флюоритовых месторождений Забайкалья установил следующее. Месторождения и рудные тела Северного флюоритового пояса характеризуются вертикальной зональностью оруденения – они образуют кулисообразную вертикально-зональную колонну. Поэтому на основе знания зонального размещения рудных тел в пространстве можно устанавливать верхние и нижние их части и определить уровень среза месторождений и рудоносных структур в целом.

Исследованиями П.Ф. Иванкина с соавторами [1961 г.] установлено два главных этапа формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В ранний предрудный этап приходило мощное метасоматическое преобразование пород, а в поздний рудный этап – формирование сульфидных залежей. Для месторождений и рудных полей характерна зональность в размещении минеральных парагенезисов: минеральные ассоциации разных стадий образовали зональные колонны гидротермально-метасоматических пород. В результате на колчеданных объектах возникла «сквозьярусная» зональность сульфидных залежей. В пределах общей колонны колчеданно-полиметаллических руд обособились две зоны. В верхней зоне процесс отложения вещества резко преобладал над выщелачиванием пород. Поэтому здесь сформировались кварцевые, карбонатные, баритовые жилы, хлоритовые и хлорит-доломитовые метасоматиты с обильным пиритом. В гидротермально-метасоматических образованиях расположены залежи богатых барит-полиметаллических и колчеданно-полиметаллических руд. В этих рудах соотношения меди, свинца и цинка составили 1:2:5 соответственно с обогащением сурьмой, золотом, серебром, кадмием, селеном, теллуром. На Березовском месторождении

установлен постепенный переход разных типов метасоматитов по склонению структуры. Внизу зона представлена мощными (до 200–300 м) протяженными телами серицит-кварцевых метасоматитов. Среди них отмечаются тела серицитовых кварцитов и кварцитов. В пределах этой колонны размещены сероколчеданные полиметаллические и медно-цинковые месторождения – Белоусовское, Иртышское, Новоберезовское. Соотношение Cu:Pb:Zn в рудах составило 1:0,5:3 с пониженной концентрацией Sb, Au, Ag, Te. Поэтому знание обобщенной зональной рудно-метасоматической колонны позволяет уверенно определять эрозионный срез рудоносных структур на каждом конкретном рудном объекте.

Эрозионный срез на конкретном месторождении можно определять если установлен вертикальный интервал протяженности рудных тел. Основой установления вертикального размаха оруденения являются геологоструктурные факторы и критерии зональности. Геологические данные позволяют относить выявляемые месторождения к той или иной рудной формации, структурные факторы определяют вертикальный размах рудовмещающих структур. Критерии зональности рудных объектов дают представления об уровнях эрозионного среза рудоносных структур. Все это может использоваться при минерагеническом анализе и прогнозной оценке новых рудных провинций, рудных районов, рудных полей, а также при проведении поисковых работ.

2.1.2. Поисковые признаки промышленного оруденения

Поисковыми признаками рудоносности считают такие геологические, минералогические, геохимические, геофизические, геоботанические, геоморфологические, историко-геологические и иные факты, прямо или косвенно указывающие на наличие или на возможность выявления полезных ископаемых в недрах исследуемого региона. Поисковые признаки обусловлены образованием и последующим разрушением месторождений полезных ископаемых. Это следы геологических процессов и явлений, отвечающих образованию, изменениям и разрушению месторождений. Поисковые признаки отражают многообразие форм проявления продуктивной минерализации на изучаемых срезах рудоносных структур. Они разделяются на природные, связанные с формированием и разрушением месторождений, и техногенные, обусловленные деятельностью людей, разрабатывавших и перерабатывавших полезные ископаемые в древности.

Различают прямые поисковые признаки, непосредственно указывающие на наличие того или иного полезного ископаемого, и косвенные, свидетельствующие о возможности обнаружения такого оруденения. К прямым поисковым признакам относятся:

- выходы полезного ископаемого на поверхность;
- первичные ореолы рассеяния полезных минералов и рудообразующих элементов;
- вторичные механические, литохимические, гидрохимические, биохимические, атмосферические ореолы и потоки рассеяния полезных минералов и рудообразующих элементов;
- термобарохимические данные;
- геофизические аномалии – радиометрические, часто магнитно-гравитационные;

➤ следы старых горных работ с остатками рудного материала или переработки полезного ископаемого.

➤ К косвенным поисковым признакам относятся:

➤ измененные околорудные породы – индикаторы возможного оруденения;

➤ минералы и элементы-спутники оруденения;

➤ геофизические аномалии – гравиметрические, электрические, часто магнитные и др.;

➤ ботанические;

➤ геоморфологические;

➤ историко-географические данные о горных промыслах.

Относительное значение (вес) поисковых признаков зависит от конкретной геологической ситуации в регионе. Обычно прямые поисковые признаки оцениваются выше, чем косвенные, поскольку они быстрее приводят к конечной цели - открытию месторождения.

Анализ и учет значимости поисковых критериев и признаков в конкретных геологических обстановках определяет рациональный комплекс поисковых критериев и признаков промышленных месторождений полезных ископаемых.

Выходы полезного ископаемого на поверхность служат основным поисковым признаком наличия полезного ископаемого. По ним можно судить о типе оруденения, качестве руды, а иногда и о возможных масштабах рудопроявления. Но изучение рудных выходов осложняется гипергенными процессами изменения руд и вмещающих пород. Особенно интенсивно рудные выходы преобразуются на сульфидных месторождениях. По степени гипергенной устойчивости минералов все рудные месторождения можно разделить на две группы:

- 1) месторождения, рудообразующие минералы которых устойчивы в зоне окисления. Они представлены рудами магнетита, ильменита, хромита, титаномагнетита, касситерита, шеелита, золота, платины, алмазов, драгоценных камней, монацита, циркона, берилла, кварца, рутила и других. При обнаружении выходов таких руд на поверхность данные по составу, характеру руд прогнозируются на глубину;
- 2) месторождения, главные рудообразующие минералы которых не устойчивы в зоне гипергенеза. Они представлены в основном сульфидными рудами, легкоокисляющимися на поверхности с частичным или полным выносом металлов и образованием «железных шляп», состоящих из окислов железа, марганца, малахита, азурита, куприта, смитсонита, эритрина, скородита и др. Ниже зоны окисления на таких месторождениях проявляется зона вторичного сульфидного обогащения она обусловлена зоной существования застойных вод.

Вторая группа месторождений подразделяется на две подгруппы:

- а) объекты, неустойчивые в зоне гипергенеза, в которых рудное вещество меняет минеральную форму, но сохраняется в объеме объекта;
- б) объекты полностью неустойчивые, в которых рудное вещество окисляется, выносятся за пределы зоны окисления и рассеивается в окружающем пространстве.

Но иногда в зоне окисления сульфидных свинцово-цинковых месторождений происходит образование вульфенита $PbMoO_4$ и ванадинита $Pb[VO_4]_3Cl$ за счет элементов-примесей в сульфидных минералах. Нередко эти вторичные ярко окрашенные минералы возникают на месте пиритизированных пород и тогда они создают «ложные вторичные ореолы руд Pb и V».

Изучение минералов зоны окисления позволяет судить о качественном химическом составе первичных сульфидных руд и способствует выявлению их в коренном залегании. Например, аннабергит, эритрин свидетельствуют о присутствии в окисляющихся сульфидных рудах арсенидов никеля и кобальта; скородит – о наличии арсенопирита, нередко выступающего как индикатор золото-сульфидного оруденения; миметезит или бэдантит указывают на галенит и арсенопирит, а ярозит – на присутствие сульфидов железа. Тектурные особенности вторичных бурых железняков используются для количественной реставрации минерального состава первичных сульфидных руд. В этом случае к индикаторным лимонитам относятся только местные, возникшие на месте первичных сульфидных минералов. Такие лимониты обладают пористым скелетом или имеют губчатые формы.

Использование минералого-геохимических признаков на стадии поисковых работ базируется на изучении типоморфизма минералов, на парагенезисах минералов и рудных элементов, на знании особенностей протекания геохимических процессов при эндогенном рудообразовании и преобразовании руд в зонах гипергенеза. Учение о типоморфизме минералов предполагает анализ данных по составу, структурам, свойствам минеральных парагенезисов в связи с условиями их образования. Кристалломорфологические, структурные, кристаллохимические, термобарохимические, изотопные, физические данные, в том числе термо-ЭДС минералов, могут служить основой минералогических методов поисков и прогноза месторождений полезных ископаемых. Знание типоморфных минеральных ассоциаций позволяет выявлять рудоносные структуры, зоны, горизонты, определять коренные источники сноса полезных минералов, анализировать эндогенную зональность, определять уровни эрозионного среза рудоносных структур и способствовать поискам скрытого оруденения. Парагенезисы вторичных минералов используются при оценке выходов окисляющихся руд. Минералы-индикаторы служат основой поисков и оценки месторождений. Например, при поисках алмазных месторождений применяется «пилопная съемка». Минерал тосудит как ярко-оранжевый люминесцентный используется при поисках месторождений ртути; сильванит и карналлит в галите служат индикаторами калийной и калий-магниевого минерализации; самородное олово, свинец и муассанит выступают как индикаторы месторождений полиметаллических руд и руд олова; пирит-арсенопиритовая вкрапленная минерализация служит признаком на поиски золотых руд; при поисках месторождений пьезокварцевого сырья используются изменения псевдогексагональности кварца.

Для разных типов рудных месторождений характерны определенные парагенетические ассоциации элементов. Например, для золоторудных объектов свойственны ассоциации Au с Ag, As, Bi, Te; для ртутных – Hg с Sb, As; платиновых – Pt с Cr, Cu, Ni, Co, Au, Pd; для ураноносных песчаников – U с V, Se, Mo. Поэтому при геохимических поисках месторождений определяют глобальные, региональные, локальные параметры распределения элементов в породах: среднее содержание \bar{x} (фоновое для пород конкретного региона или кларк для земной коры), дисперсия S^2 , показатели вариации V, %, коэффициенты концентрации K_K и накопления K_H . Статистические параметры распределения элементов и особенно S^2 , K_H , V широко используются в геохимических поисках и прогнозировании оруденения на основе сравнительного анализа их с фоновыми или кларковыми значениями, или с K_H при выделении потенциально продуктивных магматических и метасоматических комплексов. При поисках и прогнозировании оруденения используют такие геохимические показатели как наличие в породах рудных элементов и элементов-индикаторов

того или иного оруденения; характер распределения в породах петрогенных элементов; проявление рудных элементов в минералах – геохимических индикаторах оруденения; характер корреляционных связей между отдельными химическими элементами, их ассоциациями и особенности изменения этих связей в различных обстановках; изменение изотопных отношений K, Rb, Sr, Li, Sm, Nd, Pb, S, O₂, H₂. Изучение геохимических процессов в зонах гипергенеза служит основой поисков и прогноза остаточных и инфильтрационных месторождений бокситов, силикатно-никелевых и урановых руд.

Первичные ореолы рассеяния минералов и рудных элементов возникают во вмещающих руды породах одновременно с образованием рудных концентраций в околорудных метасоматитах и жильных образованиях. Эти ореолы представлены тонкодисперсными минеральными и геохимическими ассоциациями рудных минералов и химических элементов, образующих своеобразные «чехлы» вокруг рудных тел и рудно-метасоматических колонн (рис. 47, 48, 62). Они формируются в периоды предрудного, околорудного метасоматоза и отложения продуктивной рудной минерализации. По характеру своего проявления – привноса, перераспределения и выноса элементов в рудовмещающих породах – обособляются положительные и отрицательные геохимические ореолы. Первые создаются в условиях привноса и фиксации рудных элементов, а вторые – при выносе их из зон околорудного метасоматоза и рудоотложения. Отличительной характеристикой первичных (эндогенных) геохимических ореолов служит их зональность. Она образована обособлением химических элементов определенного состава вокруг рудных зон и рудных тел: выделяются надрудные «а» (Ba, Sb, Hg, Tl), околорудные «в» (Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Tl, Au, Ag, Se, As₁), подрудные «с» (Ti, Ni, Co, V, Mn, Cr, Mo, As₂, W, Be) группы элементов (рис. 9, 12, 82, 86).

Во всех рудных полях и месторождениях проявлены ореолы убогой тонкодисперсной сульфидной вкрапленности вокруг рудоконтролирующих структур, рудных тел, окружающих и сопровождающих метасоматитов. Минеральные тонкие вкрапления представлены пиритом, халькопиритом, пирротином, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, герсдорфитом, миллеритом, блеклой рудой, тетрадимитом и другими сульфидами, сульфосолями, теллуридами, селенидами, оксидами. Первичные геохимические ореолы образованы халькофильными элементами – Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Bi, Te, Se, Sn, V, Co, Ni, As, Sb, Ba, Hg, Tl, W, Be. Такие минералогические и геохимические ореолы всегда развиты в значительно больших объемах недр, чем рудные тела и околорудные метасоматиты. Поэтому при поисках они обнаруживаются в первую очередь при выполнении геохимического опробования на значительных территориях. Размеры геохимических ореолов и геохимических полей различны – от первых десятков-сотен квадратных метров до первых километров-десятков километров по протяженности. По размерам рудных выделений минералов в ореолах В.И. Красников [1965] различает макроореолы, в которых рудные минералы различаются невооруженным глазом, и макроореолы, рудное вещество в которых присутствует в форме микроскопических и субмикроскопических включений в породах.

Размеры первичных ореолов находятся в прямой зависимости от масштабов рудных скоплений, от концентрации в них полезных компонентов и от масштабов проявления околорудных и предрудных метасоматических процессов. По положению относительно дневной поверхности выделяют открытые геохимические орео-

лы, то есть выходящие на поверхность, и скрытые, не выходящие на поверхность. Среди скрытых различают слепые (невскрытые эрозией ореолы), погребенные (перекрытые чехлом аллохтонных отложений) и скрыто-перекрытые, включающие слепые и перекрытые ореолы.

Морфология первичных ореолов определяется в основном геологическими факторами протекания минералообразующих процессов. Для эндогенных месторождений морфология ореолов отвечает морфологии разломов, трещин, зон трещиноватости и расщеливания, а также повышенной эффективной пористости пород. В рудных полях ореолы чаще размещаются согласно с метасоматическими и рудными телами. Эта тенденция справедлива как для крутопадающих, так и пологопадающих рудно-метасоматических зон-колонн и отдельных рудных тел. Согласно развитию ореолов в пространстве выявляется на месторождениях с жильными, штокверковыми и прожилково-вкрапленными рудными залежами. Иногда вокруг рудных тел пологого залегания в виде оторочек и апофиз появляются крутопадающие геохимические ореолы, сформированные в поперечных, кососекущих трещинах, разломах, зонах интенсивной трещиноватости пород. Это так называемые инфильтрационные ореолы, возникшие под воздействием флюидопотоков. Морфология и размеры диффузионных ореолов неодинаковы для компонентов растворов в разных фазах. Элементы, переносимые в жидкой фазе, образуют ореолы, развитые у минерализованных трещин, рудных тел, оторачивая их. Мощность таких диффузионных геохимических ореолов от первых сантиметров до десятка метров и зависит от проницаемости рудовмещающих пород. Hg, I, Br, мигрирующие в газовой фазе, создают более крупные по размерам ореолы (до 200 м и более) в висячих боках или в головной части рудных зон, рудных тел.

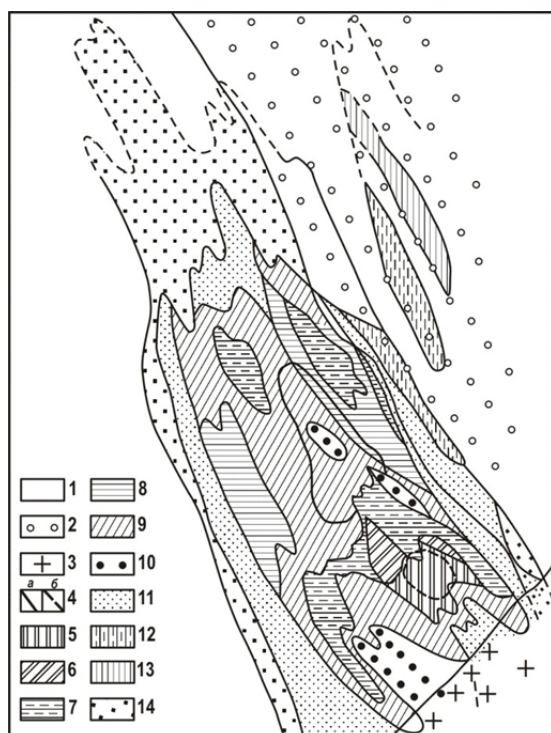


Рис. 84: Зональность распределения элементов в ореоле вольфрам-молибденового месторождения (по С.Г.Петровской, А.М.Спирidonову, Ю.М.Страгису):

1 – порфириды, 2 – кремнисто-карбонатные породы, 3 – граниты Pz, 4 – контуры тел гранит-порфиоров, выходящие на поверхность (а) и скрытых (б), 5-14 – поля развития ассоциаций элементов с коэффициентами контрастности более 10

$$5 - \frac{W}{63}, \frac{Mo}{44}, \frac{Pb}{38}, \frac{F}{20}, \frac{Zn}{11}, \frac{Ag}{16};$$

$$6 - \frac{Mo}{183}, \frac{W}{139}, \frac{Pb}{45}, \frac{F}{20} \left(\frac{Cu}{12}, \frac{Ag}{12}, \frac{Bi}{12} \right);$$

$$7 - \frac{161}{Mo}, \left(\frac{Pb}{14}, \frac{Bi}{11}, \frac{W}{8}, \frac{F}{7} \right); 8 - \frac{Mo}{102}, \frac{Bi}{58}, \frac{Pb}{289}, \left(\frac{Ag}{15} \right);$$

$$9 - \frac{Pb}{74}, \frac{Mo}{33}, \frac{Zn}{12}; 10 - \frac{550}{Pb}, \frac{Ag}{91}, \frac{Mo}{59}, \frac{Bi}{47};$$

$$11 - \frac{Pb}{64-189}, \frac{Ag}{19-32}, \left(\frac{Mo}{15}, \frac{Zn}{8-12} \right);$$

$$12 - \frac{Bi}{208}, \frac{Pb}{27}, \left(\frac{Ag}{13}, \frac{Mo}{12}, \frac{Cu}{10} \right); 13 - \frac{B}{11} \left(\frac{Mg}{10} \right);$$

$$14 - \frac{Pb}{45} \left(\frac{B}{17} \right). \text{ В скобках показаны элементы, встречающиеся спорадически.}$$

Важнейшей особенностью строения первичных ореолов явля-

ются крутопадающие геохимические ореолы, сформированные в поперечных, кососекущих трещинах, разломах, зонах интенсивной трещиноватости пород. Это так называемые инфильтрационные ореолы, возникшие под воздействием флюидопотоков.

ется их зональность (рис. 12, 23, 48, 84–87). Она создается закономерным изменением в пространстве состава и концентрации элементов по мере удаления от месторождений и рудных тел. Например, на месторождениях вольфрам-молибденовой формации первичные ореолы по вертикали достигают 0,8...1 км. В ореолах отмечается смена эпицентров концентрации элементов по схеме: Mo–W, Bi, Be–Cu (рис.84). На сульфидных месторождениях S, Cl, Br, Hg, As, Sb, Mo распространяются более широко по сравнению с Au, Sn, Co, Ag, Zn, Be.

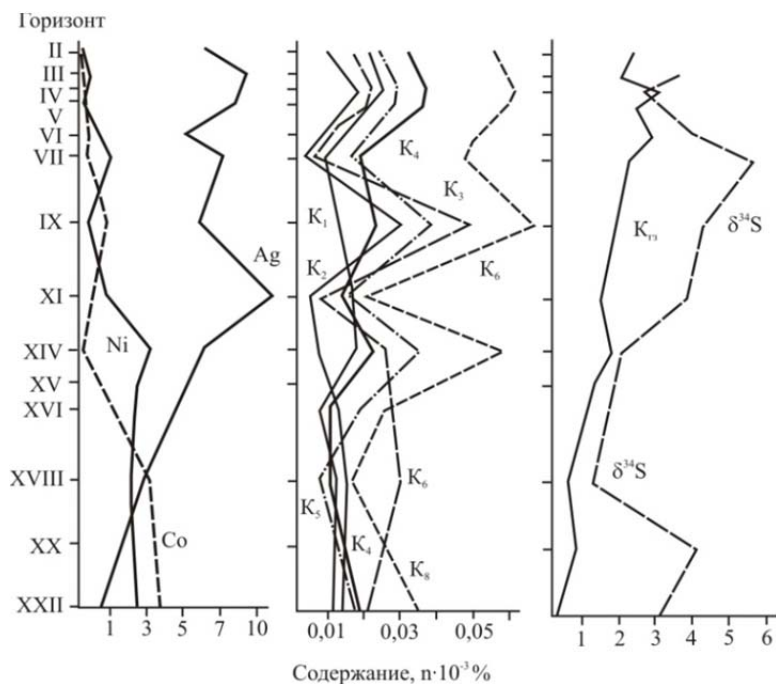


Рис. 85. Изменение в пирите III генерации с глубиной кварц-золото-сульфидной жилы Каскадной содержания элементов-примесей, аддитивного геохимического показателя ($K_{ГЗ}$), мультипликативных геохимических показателей из метасоматических колонок (K_1 – K_3 – внутренняя зона, K_4 – K_6 – внешняя зона) и изотопного показателя состава серы ($\delta^{34}S$):

$$K_{ГЗ} = \frac{Pb+Zn+Bi+Ag}{As+Sn+Co+Ni}, K_1, K_4 = \frac{Ba \cdot Ag}{V \cdot Cr}, K_2, K_5 = \frac{Pb \cdot Ag \cdot Cu \cdot Zn}{V \cdot Ni \cdot Cr \cdot Be}, K_3, K_6 = \frac{Pb \cdot Ag \cdot Cu}{V \cdot Ni \cdot Cr}$$

По отношению к рудному телу выделяют осевую, продольную и поперечную зональность. Осевая зональность выявляется по направлению предполагаемого движения рудообразующих растворов. Продольная геохимическая зональность направлена по простиранию залежей, а поперечная зональность определяется вкрест простирания рудных тел и рудно-метасоматических зон. Кроме того, выделяются ранее отмеченные надрудные, околорудные и подрудные геохимические ореолы (группы элементов). Вертикальный диапазон таких ореолов достигает сотен метров и даже 3–4 км.

Обобщенный ряд зональности элементов на рудных месторождениях, по данным С.В. Григоряна и Л.Н.Овчинникова, от подрудных к надрудным ореолам представлен в таком виде – W-Be-Sn-U-Mo-Ni-Bi-Cu-Au-Zn-Pb-Ag-Cd-Hg-As-Sb-Ba-I. Расчет рядов зональности элементов выполняется по кластер-анализу, парагенезису

элементов, по корреляционному признаку. Для выявления коэффициентов вертикальной зональности рекомендуются следующие формулы:

$$I = \frac{PM_i}{PM_j} \text{ или } V = \frac{PC_i}{PC_j},$$

где PM_i и PC_i – произведение продуктивности или средних содержаний в ореолах по надрудным элементам, а PM_j и PC_j – то же для подрудных элементов.

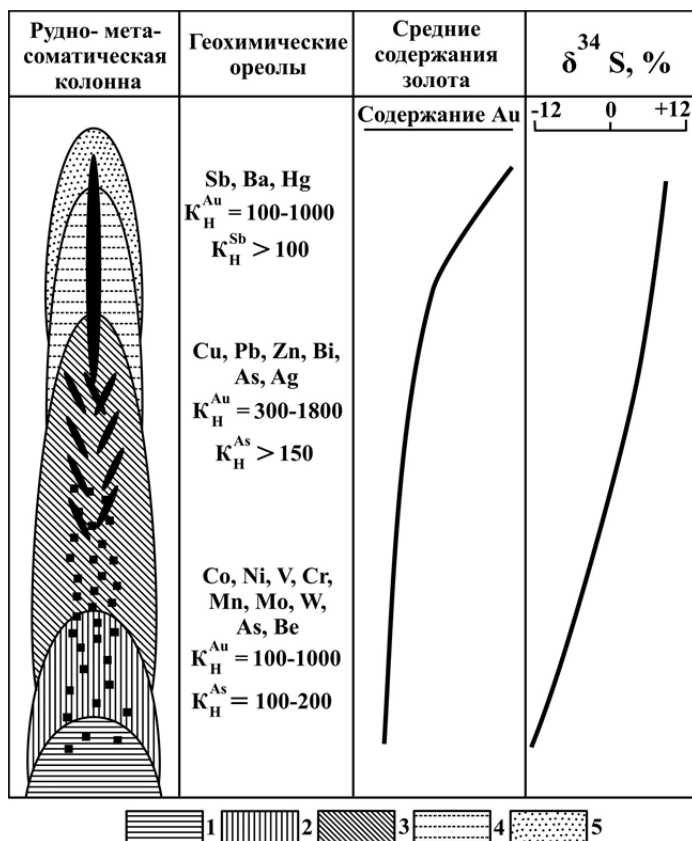
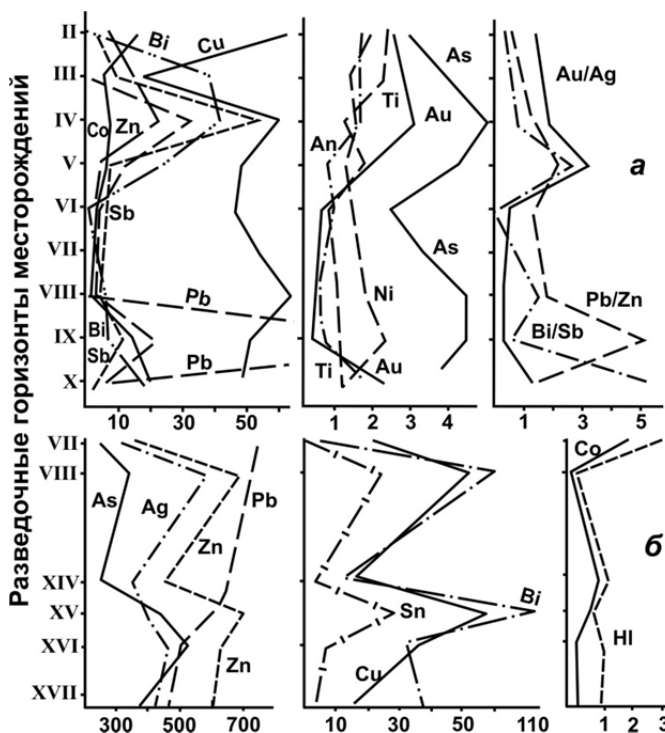


Рис. 86. Геохимическая зональность Боко-Васильевского рудного поля

(по А.Ф.Коробейникову и др.):

- 1 – аподунитовые серпентиниты, 2 – апосерпентинитовые листвениты, 3 – кварц-карбонат-серицитовая фация березитов, 4 – кварц-карбонат-хлоритовая фация березитов, 5 – кварц-кальцитовая фация березитов

Рис. 87. Изменение средних содержаний элементов-примесей в пиритах руд контактово-метасоматического (а) и гидротермально-жильного (б) месторождений золота палеозойских орогенов



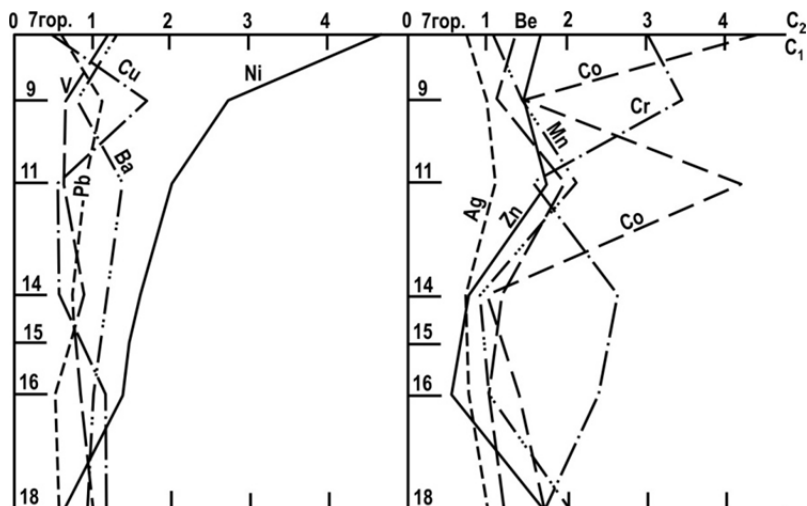


Рис. 88. Изменение концентрации элементов-примесей в березитах и жильных рудах различных горизонтов Каскадного золоторудного месторождения в черносланцевой толще (по А.Ф.Коробейникову)

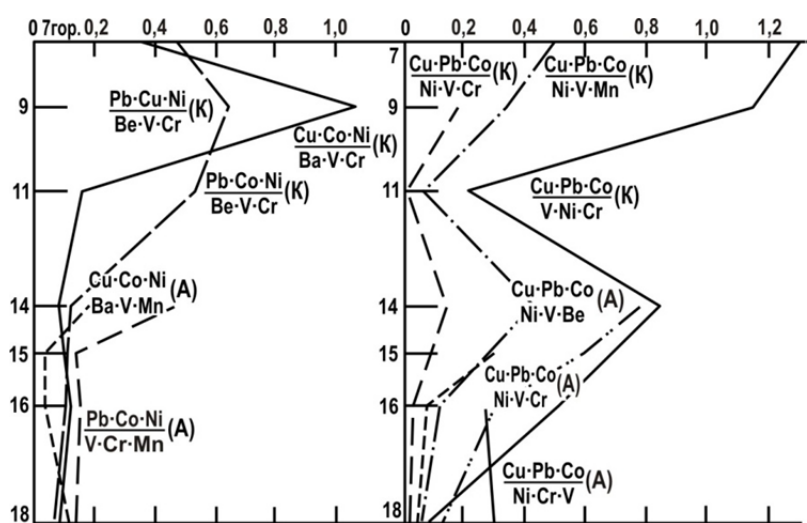


Рис. 89. Изменение мультипликативных коэффициентов концентрации микроэлементов по горизонтам того же месторождения (К) и Андреевской жилы (А)

При совмещении в пространстве различных по составу и условиям локализации руд возникают сложные комбинированные, иногда полиформационные ореолы с усложненными рядами зональности элементов (рис. 8, 14, 88, 89).

Практическое значение зональности первичных ореолов определяется тем, что она позволяет оценивать уровень пересечения ореола, его природу, прогнозировать не только наличие скрытого оруденения, но и определять положение возможного уровня его локализации (рис. 15, 88, 89).

Итак, первичные ореолы тонкодисперсных минералов и рудных элементов наибольшее значение приобрели при поисках и прогнозировании рудных полей, месторождений, не выходящих на дневную поверхность. Их использование в геохимических методах поисков существенно повышает эффективность поисковых работ.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния рудных минералов и элементов возникают при разрушении месторождений полезных ископаемых и их первичных ореолов под воздействием физического и химического выветривания с последующим перемещением и рассеянием рудного вещества. Прогнозно-поисковая значимость вторичных ореолов определяется тем, что они имеют размеры, намного превышающие объемы рудных тел, и позволяют легко находить рудные объекты. По-

этому вторичные ореолы и потоки рассеяния полезных минералов и рудообразующих элементов отнесены к прямым поисковым признакам. Они возникают на месторождениях любого минерального состава и генетического типа и формируются в почвах, рыхлых отложениях, в грунтовых и поверхностных водах, растениях, в почвенном и приповерхностном воздухе. Это отражает их уникальность как прямых признаков оруденения и создает широкие возможности для реализации поисков промышленных скоплений полезных ископаемых (рис. 90).

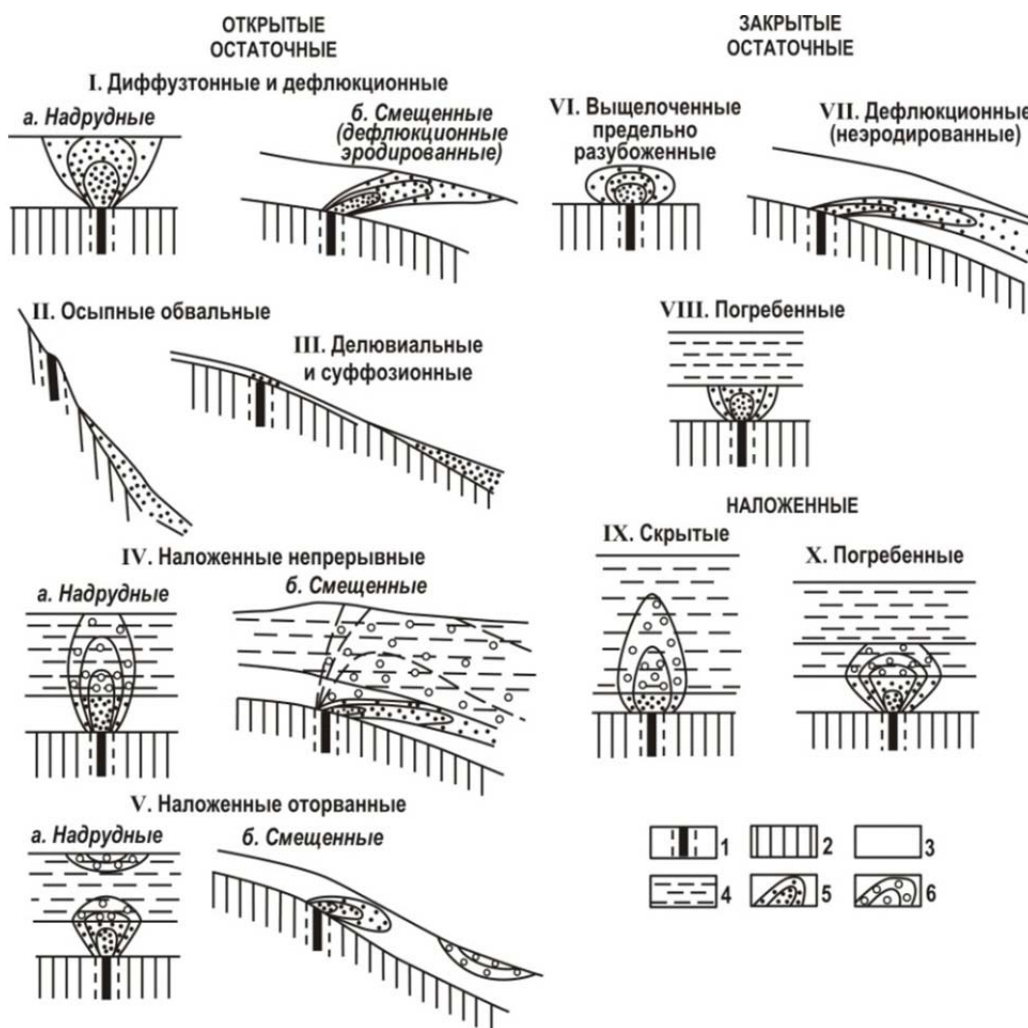


Рис. 90. Основные типы вторичных ореолов рассеяния (по В.В.Поликарпочкину):
 1 – рудное тело в разрезе; 2 – коренные породы; 3 – местные и 4 – приносные рыхлые отложения; 5 – остаточные и 6 – наложенные ореолы рассеяния

В зависимости от процессов разрушения и фазового состояния продуктов рассеяния вторичные ореолы и потоки рассеяния разделяются на механические, водные (гидрохимические), газовые (атмохимические) и биохимические. Механические их

разности образуются при выветривании руд и первичных ореолов, сложенных химически устойчивыми минералами. По крупности и агрегатному состоянию продуктов разрушения они делятся на *крупнообломочные* – рудные обломки, валуны, галька размером до десятков сантиметров в диаметре среди элювиально-делювиальных, речных и ледниковых отложений; *илиховые* или *минералогические* – размеры рудных зерен тяжелых фракций рыхлых образований от десятых долей до первых миллиметров; *тонкодиспергированные* – размеры рудных зерен сотые и тысячные доли миллиметра.

Солевые ореолы и потоки рассеяния формируются в результате химических процессов разложения, растворения, переноса, переотложения вещества в окружающих породах в виде элементов и их солей [Поиски и разведка..., 1977; Каждан, 1984; Коробейников, Кузубный, 1998]. Соли, растворенные в водах, в одних случаях переносятся на значительные расстояния от рудных тел, а в других остаются вблизи рудных зон. Выпадение солей из раствора происходит при изменениях pH, Eh растворов, при пересыщении их испарением, при обменных реакциях со средой, сорбционными эффектами. В природных условиях солевые ореолы сочетаются с механическими. В формировании таких литохимических ореолов и потоков рассеяния принимают участие механическая и химическая дезинтеграции и рассеяние рудного вещества, а также биогенная аккумуляция его в верхнем почвенном слое рыхлых отложений.

Наиболее высокие концентрации металлов в литохимических ореолах рассеяния связаны с мелкой фракцией рыхлых отложений (менее 1 мм), способной к накоплению тонкодиспергированного рудного вещества и аккумуляции его из растворов при сорбции, коагуляции, биогенного накопления. Морфология и внутреннее строение вторичных литохимических ореолов определяются типом ореолов, особенностями состава и строения рыхлого покрова, рельефом местности, положением и формой рудных тел, а их содержание и интенсивность – типом и качеством разрушаемых руд. Протяженность таких ореолов в гидросети оценивается в 1–5 км [Красников, 1965].

Потоки вторичного рассеяния рудного вещества выражаются в виде сорбции на органике и глинистых частицах тончайших минеральных форм (сотые-тысячные доли миллиметров). В результате образуются концентрации рудных элементов, превышающие геохимический фон элементов в десятки раз. Примыкая к вторичным геохимическим ореолам, они постепенно теряются в шлейфе рыхлых отложений с фоновым распределением металлов. Протяженность потоков вторичного рассеяния рудного вещества составляет 1–4 км. По ним можно проследить солевые ореолы в руслах пересохших водотоков, выявлять тонкодисперсную форму рассеяния устойчивых рудных минералов и отыскивать механические и солевые потоки рассеяния.

Гидрохимические ореолы и потоки рассеяния находятся в поверхностных и подземных водах с повышенными концентрациями относительно фоновых содержаний рудных элементов и их спутников. Такие ореолы образуются за счет растворения и выноса химических элементов и их соединений из рудных тел и сопровождающих первичных и вторичных ореолов рассеяния (рис. 13, 91). Гидрохимические ореолы выявляются во многих месторождениях цветных, редких, благородных и редкометалльных элементов, особенно с сульфидным составом руд. Такие руды легко разрушаются в зоне окисления с образованием легко растворимых сульфатов.

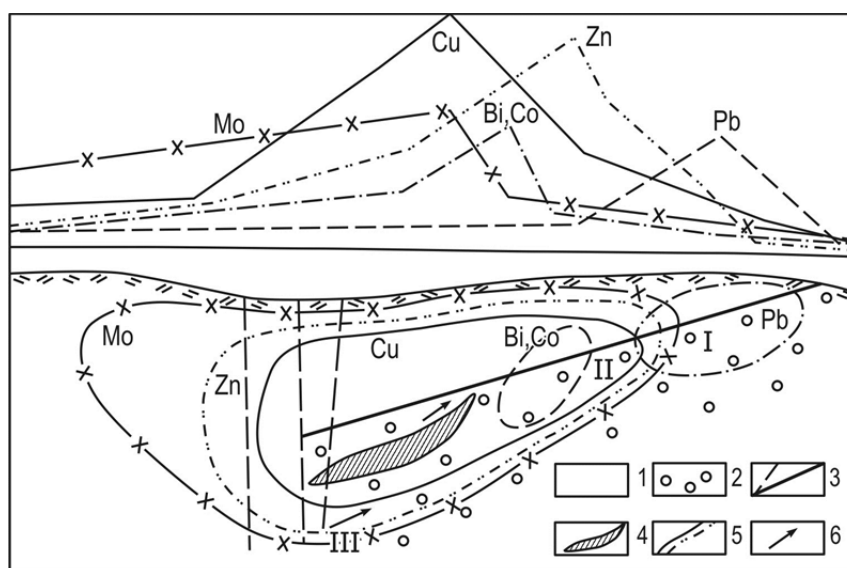


Рис. 91. Зональность гидрохимических ореолов над скрытой медно-колчеданной залежью (разрез) (по С.В. Григоряну и др.):

1 – терригенные породы, 2 – конгломераты, 3 – разрывные нарушения, 4 – колчеданная залежь, 5 – изолинии повышенных концентраций элементов в грунтовых водах; 6 – пути движения подземных вод. I – группа надрудных ореолов Zn+Pb+Ba; II – группа околорудных ореолов Ba+Cu+Zn+Mo+Pb; III – группа подрудных ореолов Co+Bi+Cu+Zn+Pb+Mo

В ореолах содержания элементов увеличиваются на 1–2 порядка по сравнению с их фоновыми концентрациями. Например, для меди и цинка содержания составляют $6...8 \cdot 10^{-4}$ г/л, а вблизи рудных тел даже $1 \cdot 10^{-1}$ г/л и более. Образованию водных ореолов рассеяния элементов способствуют:

- наличие зон окисления и степень их проработанности;
- интенсивность водной миграции элементов;
- благоприятная геологоструктурная обстановка, способствующая активному и длительному проникновению вод в рудные зоны и околорудные ореолы минералов, элементов;
- интенсивность вмещающих пород, препятствующая осаждению элементов из растворов по пути их миграции.

Протяженность гидрохимических ореолов для меди, цинка, молибдена, урана, наиболее подвижных в зоне гипергенеза, может достигать многих километров.

Атмохимические ореолы представляют собой продукты локального обогащения почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы паро- и газообразными соединениями металлов, связанными с полезными ископаемыми. Они образуются в результате химических преобразований руд сульфидного, ртутьсодержащего состава. К этой же группе относятся ореолы радиоактивных руд и ореолы йода. Газовые ореолы отчетливо проявляются над месторождениями углей, нефти и собственно газовыми скоплениями – горючие газы, гелий, углекислый газ, пары ртути, йода. Значительное количество газов CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , SO_2 и др. связано с глубин-

ными структурами земной коры и мантии. Такие структуры (линеаменты, рифты, зоны глубинных разломов) нередко оказываются рудоносными.

При поисках и прогнозировании рудных месторождений наиболее эффективно используются газортутные ореолы [Фурсов, 1983]. Установлено, что содержание свободных паров ртути в почвенной атмосфере над промышленными рудными объектами от 2 до 50 раз и более выше фонового. Глубина возможного обнаружения скрытых руд достигает 1 км. Газовые ореолы позволяют выявлять не только крупные рудоносные структуры, но и конкретные месторождения многих полезных ископаемых. Это и определяет высокое значение газовых ореолов как эффективного поискового признака рудоносности (рис. 92, а, б).

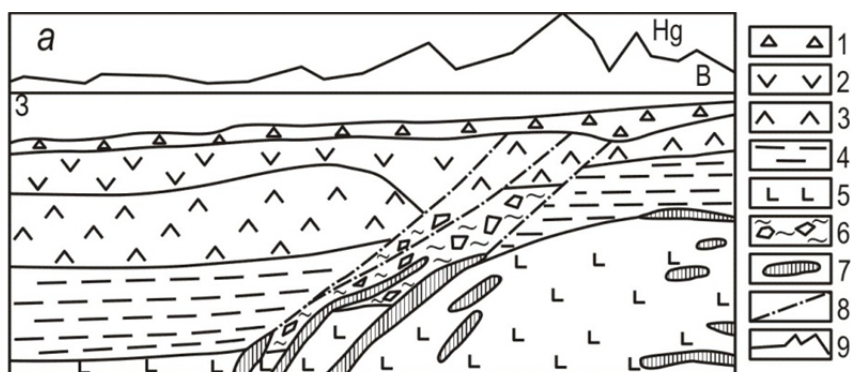


Рис. 92-а. Газортутные ореолы на Береговском полиметаллическом месторождении в Закарпатье (по В.З. Фурсову):

1 – щелнисто-глинистая кора выветривания; 2 – риолиты; 3 – риолитовые туфы; 4 – аргиллиты, алевролиты, песчаники; 5 – риолитовые туфы среднего горизонта; 6 – брекчия; 7 – рудные тела; 8 – разрывы; 9 – графики содержаний паров ртути в почвенном воздухе ($n \cdot 10^{-8}$ мг/л)

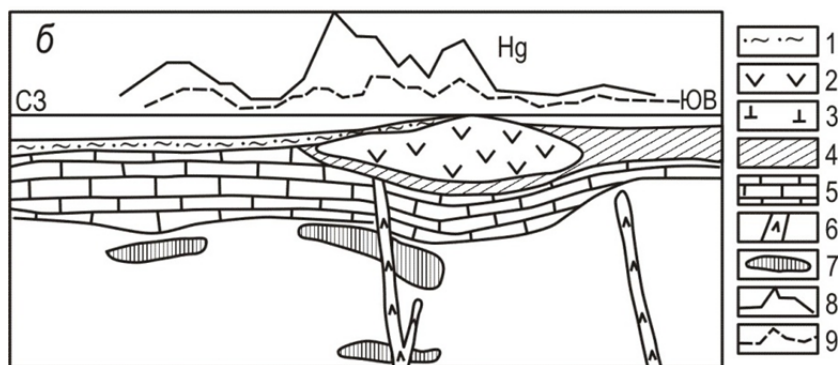


Рис. 92-б. Газортутные ореолы на Узельгинском медно-колчеданном месторождении Южного Урала (по В.З. Фурсову):

1 – суглинки и глина; 2 – андезитовые порфириты D_2 ; 3 – липариты; 4 – кремнистые сланцы D_2 ; 5 – известняки D_2 ; 6 – дайки габбро-диабазов; 7 – рудные тела; 8 – график содержаний паров ртути в почвенном воздухе по наблюдениям 29.06.73 г.; 9 – то же по наблюдениям 2.07.73 г. после дождя

Биохимические ореолы рассеяния представляют собой участки развития растений и их остатков, несущих повышенные содержания химических элементов,

свойственных подстилающим месторождениям и сопровождающим их первичным и вторичным ореолам рассеяния (рис. 9, 93).

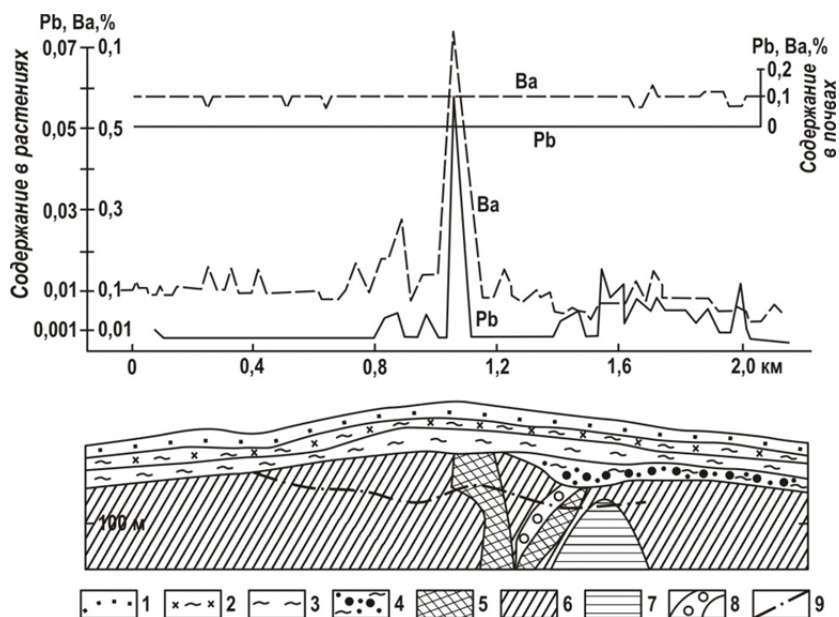


Рис. 93. Распределение свинца и бария в почвах и золе растений одного из участков свинцово-цинково-баритового месторождения (по А.Л. Ковалевскому).

1 – золотые пески; 2 – карбонатизированные глины павлодарской свиты; 3 – засоленные глины аральской свиты; 4 – глины акчийской свиты; 5 – метасоматические тела барита с полиметаллическими рудами; 6 – кремнистые баритизированные породы верхнего фамена; 7 – углисто-кремнисто-карбонатные породы того же возраста; 8 – дайки; 9 – граница коры выветривания

Поиски рудных объектов по определенным видам растений, произрастающих и использующих химические элементы для своего роста называют фитогеохимией, а по их остаткам – торфогеохимией. Для поисков обычно используются безбарьерные растения, которые накапливают рудные элементы линейно-пропорционально содержаниям их в питающей среде в сотни и тысячи раз выше местного фона – береза, хвойные деревья, полынь, мох, лишайники и др. Имеется группа растений практически безбарьерного типа, дающие приближенно-количественную информацию [Ковалевский, 1984]. Морфология и размеры биохимических ореолов рассеяния металлов обычно соответствуют параметрам литохимических ореолов рассеяния. Глубина возможного обнаружения рудных скоплений по фитогеохимии в благоприятных геологических условиях и при наличии атмосферических ореолов достигает 0,5–1 км.

Как разновидность биохимических ореолов считаются микробиологические ореолы элементов, которые формируются в зависимости от распределения и видов тионовых бактерий при использовании ими сульфидных руд в качестве питательных сред. Зональное размещение таких микроорганизмов в системе вода–порода используется для оценки сульфидоносности территорий, для уточнения положения возможных скрытых рудных тел в районах с известным сульфидным оруденением.

Микробиологическое опробование позволяет отличать породные геохимические аномалии от рудных и более точно оконтуривать рудоносные участки под наносами.

Физико-химические (термобарогеохимические) данные характеризуют ореолы гидротермального «пропаривания» эндогенных месторождений на основе изучения декрепитационной активности пород (ДА) и определения параметров рудообразующих растворов во флюидных включениях в минералах руд и околорудных метасоматитов. Эндогенные ореолы пропаривания, представленные участками насыщения минералов вторичными газожидкими включениями, отражают зону проработки вмещающих пород рудообразующими растворами (рис. 94–96). Размеры таких ореолов ДА в 4..10 раз превышают параметры рудных тел, а декрепитационная активность пород ореольных полей в 5...10 раз выше фоновой [Коробейников и др., 1977 г.]. Одновременно изучается состав, температура, давление флюидных включений, позволяющие реставрировать состав и свойства минералообразующих растворов. При поисках и оценке скрытого оруденения особое значение приобретает анализ внутреннего строения декрепитационных и геохимических ореолов. Он позволяет определять тип и тренды зональности и оконтуривать наиболее перспективные участки рудоносной площади.

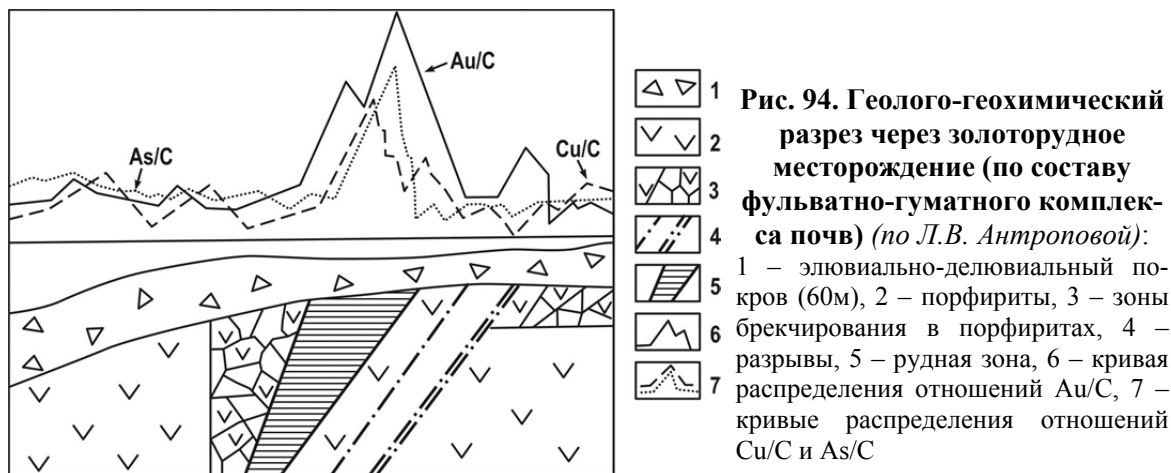
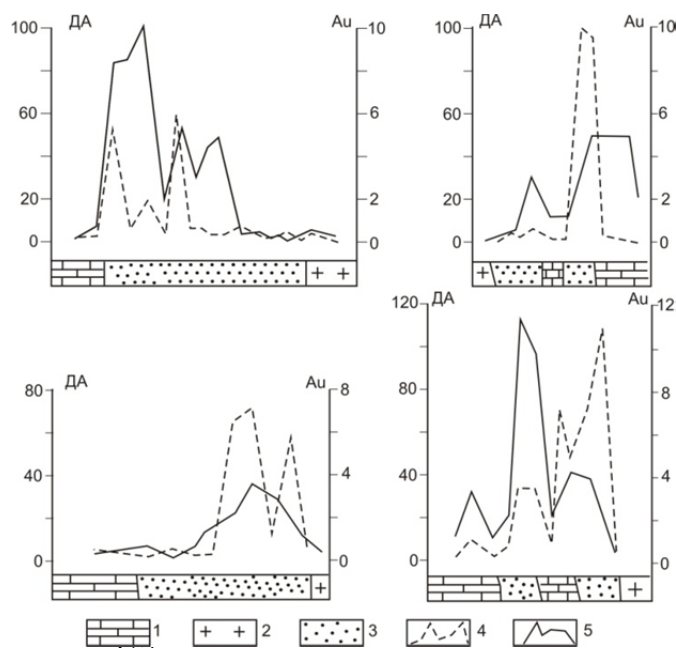


Рис. 95. Распределение золота (Au) и декрепитационная активность (ДА) кварца в лиственизированных скарнах Тарданского золоторудного месторождения (по А.Ф. Коробейникову).

1 – мраморы; 2 – диориты; 3 – зоны магнезиальных и известковых скарнов лиственизированных; 4 – кривые содержания золота; 5 – кривые ДА; 4 – горные выработки



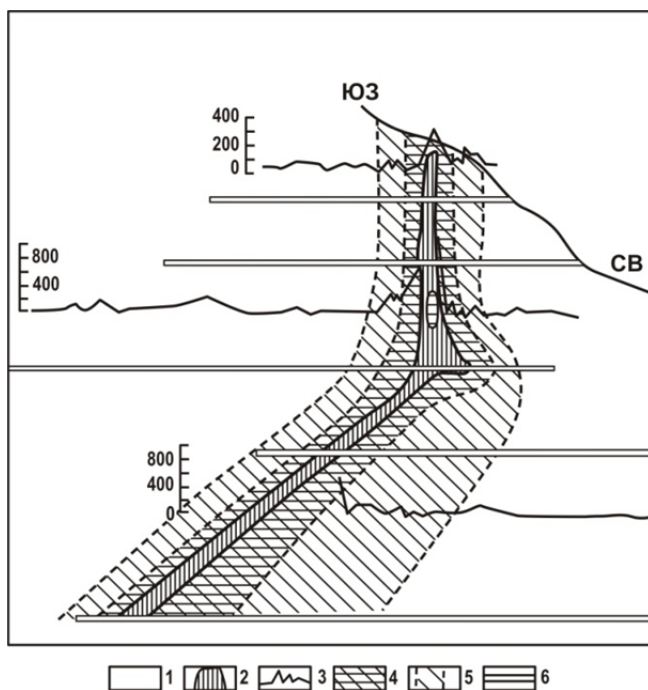


Рис. 96. Модель термометрической зональности вокруг хрусталеносных жил Памира
(по В.С. Польшковскому и др.):

1 – кварциты нижнепалеозойские; 2 – кварцевая жила; 3 – графика ДА; 4 – внутренний ореол гидротермального пропаривания; 5 – внешний ореол пропаривания, 6 – штольневые горизонты

урана, радия, тория и калия и позволяют выделять рудоконтролирующие структуры. К той же группе относятся аномалии, полученные гамма-нейтронным (отражают руды бериллия), нейтронно-активационным (фиксируют зоны флюоритовой минерализации), рентгено-радиометрическим (для полиметаллических и золоторудных объектов) методами. Контрастные магнитные аномалии (тысячи–десятки тысяч гамм) и комплексные магнитные-гравитационные аномалии создаются большим скоплением магнетитовых скарнов, титаномагнетитовых руд и железистых кварцитов (рис. 5, 29, 37, 39).

Следы старых горных работ с остатками руды и их передела иногда используются для прогнозирования и поисков рудных объектов. Такие следы горных работ известны в различных регионах Урала, Сибири, Алтая, Средней Азии, Кавказа. Древние разработки обычно встречаются в известных горнорудных районах. Это старые, в значительной мере засыпанные рыхлыми отложениями и покрытые растительностью карьеры, шурфы, штольни, уклоны, шахты, щелеобразные выработки. Это так называемые «Чудские копии». Вблизи них располагаются отвалы, обычно покрытые растительностью и обнаруживаемые по положительным формам рельефа. Старые выработки и их отвалы рассматриваются в качестве прямых поисковых при-

Геофизические аномалии в качестве прямых признаков оруденения используются редко. К ним относятся контрастные радиометрические и магнитные аномалии. Радиометрические аномалии вызываются присутствием в рудах и метасоматитах повышенных концентраций радиоактивных элементов или наличием в почвенном воздухе газообразных продуктов радиоактивного распада. Различаются гамма-аномалии и эманационные аномалии – радоновые, тороновые и смешанные. Интенсивность гамма-аномалий достигает значений от сотен до десятков тысяч микро-рентген в час. Эманационные аномалии – это участки с повышенным содержанием радиоактивных эманаций в почвенном воздухе (десятки–тысячи эман) по сравнению с фоновыми значениями. Они свидетельствуют о наличии на участке скоплений

знаков только в том случае, если в них обнаружены рудные выходы или остатки рудного материала. Нередко в таких горнорудных районах по берегам рек, речек и в сочленяющихся с ними логах обнаруживаются следы древнего металлургического передела руд – развалы плавильных печей, шлаки и древесный уголь. Шлаки иногда прослеживаются в речных отложениях на значительном расстоянии. По характеру минерализации в рудных обломках и химизму шлаков можно судить о типе использованных руд.

К косвенным поисковым признакам относятся **гидротермально измененные околорудные породы** – магнезиальные и известковые скарны, грейзены, альбититы, калишпатиты, березиты-листвениты, гумбеиты, пропилиты, эйситы, аргиллизиты. Гидротермальное преобразование пород обычно предшествует рудоотложению, а иногда и совмещается с ним. Околорудные метасоматиты окаймляют рудные залежи в виде крупных по размеру ореолов и подчинены рудоконтролирующим структурам (рис. 30, 53, 66, 69). Масштабы оруденения и качество руд нередко зависят от размеров тел метасоматитов и интенсивности прошедших околорудных гидротермальных процессов единого эндогенного этапа. Единство метасоматических и рудных процессов обусловило выделение рудно-метасоматической зональности. Это отражает высокую поисковую значимость метасоматитов и сопряженных с ними продуктивных гидротермалитов. По характеру околорудных преобразований пород можно судить не только о потенциальной рудоносности изучаемого участка земной коры, но и предвидеть состав руд и формационный тип месторождений.

Например, с магнезиально-известковыми скарнами связаны магнетитовые, шелифовые, медные, полиметаллические, золотые и комплексные золото-платиноидные, касситеритовые руды; с грейзенами, альбитит-калишпатитами совмещаются касситерит-вольфрамитовые, литий-тантал-ниобиевые, золотые рудные месторождения; с березитами-лиственитами-гумбеитами – медносульфидные, полиметаллически-сульфидные, золоторудные, золото-платиноидные, редкометалльные рудные ассоциации; с пропилитами-эйситами-аргиллизитами-кварцитами - золото-серебряные, сульфидные, медно-золото-порфиоровые и другие месторождения (рис. 30, 53, 68, 69). Однако такие тесные взаимосвязи метасоматитов и руд проявляются не всегда. Известны случаи, когда зоны скарнирования, грейзенизации, березитизации-лиственитизации пород не сопровождаются промышленно значимыми скоплениями руд или являются совершенно безрудными. В связи с этим гидротермально измененные породы – метасоматиты – рассматриваются лишь в качестве косвенного признака оруденения.

Минералы и элементы-спутники оруденения используются в качестве косвенных признаков потенциальной рудоносности структур. Индикаторную роль могут играть такие:

- минералы-спутники;
- индикаторные минеральные ассоциации;
- отдельные типоморфные черты минералов;
- количественные показатели минералов-индикаторов по мере приближения к рудным телам;
- соотношения минералов и элементов-спутников в рудах.

Важнейшее индикаторное значение имеют гипергенные минералы зон окисления сульфидных месторождений: гидроокислы, гидрокарбонаты, сульфаты Fe, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Te, Se. Широко используются минеральные ассоциации безруд-

ных фронтальных и фланговых зон рудных полей, рудных узлов, а также жильные минералы-спутники рудных минеральных комплексов. Например, кварц, барит, флюорит, карбонаты при поисках редкометалльных и золоторудных месторождений; пиропы, пикроильмениты – алмазных; хромшпинелиды – платиновых; лепидолиты и разноцветные турмалины – редкометалльных литий-тантал-ниобиевых и касситерит-вольфрамитовых; пирит, арсенопирит игольчатый – золоторудных и золото-платиноидных объектов.

Из типоморфных признаков минералов-индикаторов того или иного оруденения особое значение имеет специфическая окраска (цветные турмалины, лепидолит разнообразных пегматитов, грейзенов; зеленая окраска полевых шпатов колумбитоносных гранитов, ярко-зеленая окраска гранатов хромитоносных ультрабазитов и т.п.). Для рудоносных магматических и метасоматических комплексов характерны повышенные концентрации рудных элементов в минералах-спутниках тех или иных руд. Используются морфология кристаллов, термолюминесценция, термо-ЭДС, электропроводность, изотопные соотношения C, O₂, H₂, Pb, Sm, Nd, S и другие показатели (рис. 35, 55–58, 61, 68).

При оценке геохимических ореолов широко используются параметры распределения (S^2 , K_H , K_K , V) элементов-спутников руд, а также их корреляционные соотношения и другие геохимические показатели. Для разных формационных и геолого-промышленных месторождений кроме главных рудных элементов свойственны элементы-спутники разного состава, что можно использовать при прогнозировании и поисках того или иного оруденения. Например, колчеданно-полиметаллические месторождения кроме основных металлов Cu, Pb, Zn содержат элементы-спутники Au, Ag, Bi, Te, Se, Sb, As, Hg, Cd, Zn, Ge и другие; золото-медно-порфиновые кроме Cu и Mo – Bi, Te, Se, Pt, Pd, Au, Ag, Re и другие; для золото-сульфидных кроме Au, Ag, Cu – Bi, Te, As, Sb, Tl, Se, Pt, Pd и другие. Такие комплексные ореолы основных и сопутствующих элементов позволяют прогнозировать и искать скрытое оруденение и оценивать его промышленные возможности (рис. 8, 10, 11, 14, 15, 23, 25, 34, 38, 46–48, 54, 62, 85–89).

Геофизические аномалии представляют собой искаженные под влиянием продуктивных геологических тел фоновые физические поля в том или ином регионе. Они выявляются при геофизических работах под влиянием физических свойств горных пород и руд. Аномалии отражают неоднородность физических полей и дают возможность выделять благоприятные для локализации оруденения геологические структуры. Интенсивные и контрастные магнитные и радиоактивные аномалии могут непосредственно указывать на наличие рудных скоплений и тогда относятся к прямым поисковым признакам. Другие типы геофизических аномалий - сейсмические, гравитационные, электрические, магнитные низкой и средней интенсивности должны рассматриваться как косвенные признаки оруденения. Они позволяют выявлять рудоносные разломы, скрытые рудоносные интрузивы, рудо локализирующие контакты пород, крупные скопления в них железных, хромитовых, сульфидных руд (гравитационные, электрические и магнитные аномалии) и нефтегазоносные структуры (сейсмические аномалии). Неоднородные электрические поля и аномалии отражают контакты пород, тектонические зоны, водоносные горизонты, угольные пласты, зоны сульфидной минерализации, включающие и промышленные залежи руд. Наиболее эффективными оказываются результаты комплексной интерпретации геофизических данных (рис. 5–7, 20, 22, 29, 39, 43, 63–65).

Отчетливое отражение в физических полях площадных и локальных метасоматитов, вмещающих продуктивную минерализацию, позволяет изучить размещение их в пространстве, установить зональность и тем самым получить дополнительную информацию о возможных проявлениях полезных ископаемых на изучаемой территории.

Ботанические признаки представлены растениями-индикаторами того или иного оруденения. Они отражают обогащенность почв и подстилающего рыхлого покрова определенными элементами. Типичными примерами универсальных растений-индикаторов являются галмейская фиалка и галмейская якутка, повсеместно связанные с проявлениями цинковых руд. Растение Качим Патрена служит местным признаком медной минерализации на территориях Алтая и Тывы. Подобных растений насчитывается многие десятки, но поисковая пригодность их еще недостаточно раскрыта. Перечень растений-индикаторов того или иного оруденения можно найти в специальных справочниках «Индикационная ботаника». Стимулирующее или угнетающее воздействие на облик растений оказывают многие металлы. Например, пышная или резко угнетенная растительность, изменение формы и окраски листьев, цветов могут свидетельствовать о наличии на площади тех или иных полезных ископаемых. Растительность заметно разрежена или отсутствует вовсе над залежами богатых сульфидных, мышьяковых, редкометалльных руд (рис. 9).

Геоморфологические поисковые признаки. К ним относятся положительные и отрицательные формы рельефа, возникающие вдоль рудоносных горизонтов и структур. Они обусловлены неоднородными свойствами к выветриванию рудных тел и околорудных метасоматитов многих эндогенных месторождений. Возникают на поверхности положительные или отрицательные формы рельефа.

Положительные формы рельефа образуются в том случае, когда рудные тела и минерализованные окружающие породы обладают относительно высокой устойчивостью к выветриванию по сравнению с окружающей геологической средой. Они свойственны выходам рудоносных пегматитовых и кварцевых жил, минерализованным метасоматическим кварцитам, окварцованным породам, минерализованным дайкам, интрузивным телам, подверженных окварцеванию. Такие геоморфологические формы отчетливо проявляются в степных и пустынных районах Алтая, Тывы, Казахстана, Средней Азии.

Отрицательные формы рельефа – ложбины, впадины, воронки, ямы характерны для скрытых рудоносных структур, расположенных в зонах минерализованных разломов, повышенной трещиноватости пород, контактов разнородных толщ или рудных месторождений, залегающих среди устойчивых к выветриванию горных пород. Они связаны с процессами перераспределения минерального вещества при выветривании первичных руд и минерализованных пород при формировании зон окисления сульфидных месторождений. Подобные явления возникают с образованием рудоносного карста в известняках, где формируются марганцевые руды и бокситы, а также продуктивные силикатно-никелевые коры выветривания по ультрабазитам. Типичные примеры находятся на Урале, в Средней Азии, в Новой Каледонии и других регионах России и зарубежья.

Более сложные комбинированные формы рельефа возникают в рудоносных стратифицированных массивах базит-гипербазитов, в интрузивах центрального типа, в кальдерах и трубках взрыва. Наиболее контрастно геоморфологические поисковые признаки выражены в зрелом рельефе, где эффект, вызванный различной устойчивостью пород и руд к выветриванию, усиливается факторами времени.

Археологические данные относятся к косвенным признакам рудоносности. Они свидетельствуют о развитии горного промысла в прошлом: находки горного

инструмента и соответствующих предметов быта людей. Важные историко-географические сведения содержатся в названиях гор – гора Магнитная, Железная гора – Темир Тау, Оловянная сопка, Золотая падь; речек – Золотой Ключ, Свинцовый лог, Кан-Сай-рудный овраг и населенных пунктов – Слюдянка, Темир-Тау, Белогорск, Соликамск, которые связаны с проявлениями соответствующих полезных ископаемых.

В настоящее время значение этих поисковых признаков в значительной мере утрачено.

2.1.3. Природные условия ведения поисковых работ

Под природными условиями ведения поисковых работ подразумевается вся совокупность геологических, геоморфологических, биоклиматических и иных природных факторов, определяющих условия нахождения, формы проявления и возможности обнаружения месторождений полезных ископаемых [В.И. Красников, 1965]. Природные факторы бывают дорудными, сорудными и послерудными. Дорудные и сорудные условия определяют состав, строение и закономерности размещения месторождений металлов и неметаллов, а пострудные приводят к преобразованию первичных скоплений полезных ископаемых при окислении, выщелачивании, метаморфизме, метасоматозе, регенерации, эрозии, захоронении и определяют возможности их обнаружения.

Основой районирования территорий по доступности и трудности их опоскования служат ландшафтно-географические факторы. На выбор эффективных поисковых методов в разных регионах решающее влияние оказывают структурно-геологические условия и степень расчлененности рельефа, ландшафтно-климатические условия, мощность наносов и обнаженность территорий.

Структурно-геологические условия поисков. В.И. Красниковым выделены три типа региональных геологических структур с принципиально различными условиями ведения поисковых работ:

- 1) открытые районы складчатых областей, включающие одноярусные регионы с подтипами 1а – щиты и байкалиды, 1б – поднятые области палеозойской, мезозойской складчатости;
- 2) открытые районы платформ – двухъярусные районы с подтипами 2а - платформы без существенного проявления магматизма, 2б – открытые районы платформ, осложненные процессами тектоно-магматической активизации;
- 3) закрытые районы с региональным покровом четвертичных отложений значительной мощности: 3а – закрытые районы платформ, 3б – закрытые районы складчатых областей (табл. 7).

Первый тип региональных структур включает поднятые и в разной мере эродированные щиты, геосинклинально-складчатые пояса, активизированные области различного возраста. Для них характерны субвертикальная ориентировка рудоносных структур и наиболее благоприятные условия для выхода рудных месторождений на дневную поверхность. Рациональные методы поисков в этих обстановках могут базироваться на естественном эрозионном вскрытии продуктивных геологических формаций с содержащимися в них разнообразными полезными ископаемыми.

Основные регионально-геологические структуры (по В.И. Красникову)

Тип	Подтип	Распространенность на территории СНГ, %	Примеры
1. Поднятые и в разной мере эродированные древние щиты и складчатые области	1а – глубокоэродированные щиты и байкалиды	8	Байкальский, Алданский щиты, Байкальская складчатая зона, Урал, Казахстан, Тянь-Шань, Сихотэ-Алинь
	1б – области поднятой палеозойской, мезозойской, кайнозойской складчатости		
2. Открытые районы платформ с двухъярусным строением	2а – без позднейшего магматизма	16	Русская платформа
	2б – с широким проявлением позднейшего магматизма	11	Туранская плита Сибирская платформа
3. Закрытые районы с региональным развитием мощного рыхлого кайнозойского покрова	3а – закрытые и пониженные участки платформ и плит	30	Западно-Сибирская депрессия
	3б – закрытые районы щитов и складчатых сооружений	5	Район Каракумов и Кызылкумов

Ко второму типу структур относятся открытые районы платформ двухъярусного строения. В фундаменте платформ возможно обнаружение месторождений, свойственных и первому типу структур. В чехлах платформ преобладают рудовмещающие структуры и рудные залежи субгоризонтального залегания, нередко экранированные траппами, например, на Сибирской платформе. В связи с этим рациональные поиски в открытых районах платформ должны быть комбинированными. Они основываются на естественном эрозионном вскрытии продуктивных формаций и месторождений, а также на вскрытии более глубоких рудоносных уровней системой скважин в сочетании с глубинными геофизическими исследованиями.

Более детальное районирование территорий по структурно-геологическим условиям поисков осуществляется на основе геологических и специализированных карт – тектонических, структурно-формационных, прогнозно-минерагенических и других.

Степень расчлененности рельефа

Геоморфологические условия являются важнейшим природным фактором, влияющим на выбор эффективных методов поисковых работ. В основу генетической классификации рельефа В.И. Красниковым заложено разделение его на эрозионно-тектонический и аккумулятивный. Первый формируется при общем поднятии участков земной коры и их денудации, а второй возникает за счет аккумуляции осадков на фоне общего понижения участка земной коры в результате его денудации и опускания. Эрозионно-тектонический рельеф представлен горным и структурным типами. Среди горного рельефа различаются высокогорный, нагорный, среднегорный и низкогорный подтипы.

Высокогорный рельеф характеризуется значительными высотами до 4000–5000 м и резким расчленением: превышения хребтов над долинами составляют 2000–3000 м. Это предопределяет интенсивное физическое выветривание и обеспечивает хорошую обнаженность коренных пород. Физическое выветривание опережает процессы химического разложения руд и околорудных пород. Поэтому зоны окисления практически отсутствуют. Широко развиты ореолы и потоки механического рассеяния пород и рудного вещества. Наличие глубоко промываемых структур в условиях хорошо развитой гидросети способствует образованию гидрохимических ореолов рассеяния.

В условиях высокогорья наиболее эффективными методами поисков полезных ископаемых является геологическая съемка с использованием космоаэроснимков, а также обломочно-ледниковый, обломочно-речной, шлиховой, гидрохимический методы и поиски по донным осадкам. В связи с трудностями проведения работ (плохая проходимость, отсутствие наземных транспортных путей) главным методом поисков в таких районах считается геологическая съемка.

Нагорья. Это высоко поднятые и относительно слабо расчлененные горные массивы, размещенные во внутренних частях горных сооружений. Абсолютные отметки рельефа составляют 100...4000 м с глубиной расчленения от 200 до 700 м. Рельеф волнистый, сглаженный или пологий с округлыми гольцами и плоскими водоразделами, покрытыми каменными россыпями или заболоченными и широкими долинами с аллювием. Большие площади нагорий покрыты лесами, болотами и каменными россыпями, что затрудняет поиски рудных объектов. В таких условиях наиболее эффективными оказываются геохимические методы поисков в сочетании с космоаэрогеологическими и аэрогеофизическими исследованиями.

Среднегорный рельеф характеризуется повышениями до 3000–3500 м с глубиной расчленения до 500–1000 и более метров. Степень обнаруженности рудных районов неодинакова, но всегда хуже, чем в условиях высокогорья. Северные склоны покрыты растительностью больше южных. Процессы химического разложения руд и околорудных метасоматитов происходят интенсивно. Поэтому зоны окисления сульфидосодержащих объектов нередко достигают значительной глубины. Широко проявлены механические, литохимические, гидрохимические ореолы рассеяния рудных концентраций. В таких условиях рекомендуется применять все методы поисков, но должна учитываться широтная климатическая зональность. Геологическая съемка и поиски обычно сопровождаются выполнением значительных объемов горных выработок и скважин.

Низкогорный рельеф или мелкосопочник отличается абсолютными отметками от 100 до 1000 м с относительными превышениями 100–300 м. Склоны, вершины, водоразделы пологие и покрыты элювиально-делювиальными отложениями, почвенным слоем и растительностью. В условиях низкогорья поиски методом геологической съемки менее эффективны по сравнению с высоко- и среднегорными территориями. Особенно благоприятны для поисков широкие долины и межгорные впадины. В связи с плохой обнаженностью здесь требуются большие объемы горных и буровых работ. Эффективность поисков в таких районах повышается за счет широкого применения обломочно-речного, шлихового и особенно геофизических, литохимических, гидрохимических, атмосферических, биохимических методов. Большую помощь оказывают космоаэрометоды.

Скульптурный рельеф проявляется на плоскогорьях и плато, вскрытых речными долинами, например, плато Колорадо в США. Расчлененность относительно слабая. Глубина расчленения рельефа не превышает 200–350 м. Коренные породы обычно залегают субгоризонтально и вскрываются только по ступенчатым долинам рек. Обширные водораздельные пространства иногда перекрыты траппами или мощными рыхлыми отложениями. Например, плато Путорано на Таймыре. Все это затрудняет проведение поисковых работ. Поэтому в таких районах главное внимание уделяется долинам рек и их склонам, где наиболее эффективными оказываются геологическая съемка в сочетании с обломочно-речными и шлиховыми методами поисков. Водораздельные территории изучаются, в основном, путем дешифрирования космоаэроматериалов (высотных аэро- и космических снимков), а также аэро-геофизическими данными.

Аккумулятивный рельеф характерен для пониженных частей земной поверхности – равнинных низменностей, предгорных равнин, межгорных котловин. Здесь наиболее типичные обширные аллювиальные равнины имеют абсолютные отметки до 200 м. Коренные породы в них перекрыты мощным чехлом аллювия, озерных, ледниковых и других отложений. Различается ледниковый, эоловый, морской, озерный аккумулятивный рельеф. Области развития аккумулятивных форм рельефа лишены естественных обнажений коренных пород и крайне неблагоприятны для поисков эндогенных месторождений полезных ископаемых. Геологическая съемка и поиски в этих условиях проводятся в сочетании с геофизическими методами и сопровождаются большими объемами горно-буровых работ. В условиях ледникового рельефа наиболее эффективны валунно-ледниковые и геохимические методы.

Ландшафтно-климатические условия поисков

В основу ландшафтного районирования территорий по условиям проведения поисковых работ принимается комплекс признаков, характеризующий особенности географического ландшафта. Основными комплексами ландшафта являются рельеф, почвенно-растительный покров, слой рыхлых отложений, коры выветривания, коренные породы, почвенно-грунтовые, болотные и поверхностные воды. Все составляющие ландшафта тесно взаимосвязаны и зависят от геологического строения, проявлений неотектоники и климата района.

Наименьший участок, в пределах которого сочетаются предельно однородные части ландшафта, определяется как элементарный ландшафт. Это элемент рельефа, сложенный одной породой, одним типом рыхлых отложений и развитием определенного типа почвенно-растительного покрова. С учетом геоморфологических признаков и расположения относительно уровня грунтовых вод выделяются четыре главных типа элементарных ландшафтов – *водораздельный, склоновый, подножий склонов и местных водоемов* [Каждан, 1984]. Элементарные ландшафты водоразделов являются «автономными». Они покрыты рыхлыми элювиальными и элювиально-делювиальными отложениями, образованными за счет разрушения местных коренных пород. Здесь образуются несмещенные или почти несмещенные остаточные ореолы рассеяния рудных элементов и их спутников. Элементарные ландшафты склонов характеризуются рыхлыми отложениями делювиального типа. Для них свойственны в различной мере смещенные ореолы и потоки рассеяния основных и сопутствующих металлов руд. Элементарные ландшафты подножий склонов располагаются на их нижних выположенных частях или в пределах надпойменных террас

речных долин. В этих условиях обычно образуются вторичные скопления металлов в виде наложенных солевых ореолов, иногда в сочетании со смещенными остатками ореолов.

К элементарным ландшафтам местных водоемов относятся участки болот, русел рек, водоемы прудов и озер. В них развиваются водные и солевые ореолы рудных компонентов, обладающих высокой миграционной способностью в водной среде. Естественная совокупность элементарных ландшафтов создает общий геохимический ландшафт. По своей сути это парагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой общностью зоны миграции элементов. Следует учитывать то, что геолог нередко имеет дело с реликтами палеоландшафтов, с древними корами выветривания и зонами окисления, которые могут не соответствовать современной климатической и географической зональности.

Элементарные ландшафты и их совокупность проявляются в различных биоклиматических обстановках. Это определяет существенную специфику ореолов рассеяния и особенности методики поисков месторождений полезных ископаемых. Выделяются два типа биоклиматических областей: аридная и гумидная, в которых действуют принципиально различные условия гипергенной миграции рудных компонентов.

Аридные области отличаются сухим климатом и преобладанием испарения над количеством выпадающих осадков. Они характеризуются отсутствием лесного покрова, нередко слабым развитием травянистой растительности и непромывным режимом гидрокарбонатно-кальциевых слабо щелочных почвенно-грунтовых вод. В такой ландшафтной обстановке происходит быстрое разложение и миграция органических веществ. В то же время в водной среде рудные элементы обладают слабой химической подвижностью, а это приводит к образованию открытых и несмещенных или слабосмещенных ореолов металлов. В аридных областях располагаются пустынные, полупустынные, степные ландшафты и ландшафтно-географические зоны. Все они благоприятны для образования ореолов рудных компонентов в приповерхностном слое рыхлых отложений. Они могут эффективно выявляться геохимическими методами.

Гумидные области отличаются влажным климатом с преобладанием количества выпадающих водных осадков над испарением. Для них свойственны богатая растительность, активное накопление органического вещества в понижениях рельефа, промывной режим и кислая реакция почвенно-грунтовых вод. В тропических и субтропических гумидных областях с жарким климатом промывной режим вод приводит к образованию мощных кор выветривания и к полному выщелачиванию рудных элементов, мигрирующих в водной обстановке. В умеренно теплых гумидных областях сохраняется высокая миграционная способность этих элементов. Это приводит к оформлению протяженных литохимических и гидрохимических ореолов, иногда оторванных от месторождений. В холодных гумидных областях преобладают процессы физического выветривания пород и руд с образованием механических ореолов и потоков рудного вещества.

Гумидные области с жарким и влажным климатом включают тропическую и субтропическую ландшафтные зоны. В умеренных и крайних по климату широтах в составе их обособляются лесостепная, лесная, горно-таежная, тундровая и полярная зоны с разнообразным сочетанием механических и геохимических ореолов и потоков рассеяния рудного вещества.

Лесные ландшафты подразделяются на зоны тропических, северных хвойных и южных лесов на силикатных и карбонатных породах. Они имеют максимальную интенсивность кругооборота элементов благодаря высокому значению гидротермического показателя, кислой реакции вод и круглогодичной миграции вещества. Здесь крайне резко выражаются вторичные изменения сульфидных месторождений. Окисление идет быстро и достигает сотен метров в глубину. Металлы выщелачиваются нацело и остаются пустые железные шляпы. Сохраняются только золото, платина, касситерит, танталит, колумбит, алмаз, драгоценные камни. В условиях молодого ландшафта месторождения полезных ископаемых проявляются через контрастные вторичные ореолы рассеяния. В условиях старого ландшафта сохраняются механические ореолы устойчивых минералов. Биохимические ореолы здесь теряют контрастность. Солевые ореолы контрастны, но развиваются лишь в нижних горизонтах коры выветривания. Гидрохимические и атмохимические ореолы проявляются в глубинных водах и крупных разломах.

В условиях северных хвойных лесов, развивающихся на карбонатных породах, создающих щелочную реакцию вод, особое значение для поисков приобретают литохимические ореолы. Отбор проб рекомендуется проводить непосредственно с поверхности земли, поскольку металлы образуют почвенные коллоиды и теряют свою подвижность. Если хвойные леса располагаются на моренных песках, то литохимические ореолы погребены и поиски месторождений возможны лишь опробованием граничных горизонтов ледниковых отложений с коренными породами. В условиях лесов, приуроченных к многолетней мерзлоте, физическое выветривание будет резко преобладать над химическим. Здесь развиваются потоки рассеяния золота, платины, касситерита, вольфрамит, шеелита, колумбита, алмаза и элементов Cu, Ni, Co, Cr, Ti. Солевые ореолы свойственны Ni, Co, Cu, а в хвое и коре лиственниц обнаруживаются повышенные содержания Cu, Ni, Co, Cr, Ti.

Тундровые ландшафты формируются при условии низких температур при большой влажности и низкой испаряемости. Преобладает физическое выветривание и образуются крупноглыбовые развалы и щебнистые осыпи. Почвенные и грунтовые воды мало минерализованы. Местами развиваются тундровые торфяники. На таких участках следует применять лишь глубинные геохимические поиски. Например, на Кольском полуострове и Финской Лапландии сульфидные медно-никелевые месторождения на выходах сопровождаются биохимическими ореолами Cu, Ni, Li, Rb, Cs и гидрохимическими ореолами Mo, Cu, Ni, Zn, Li, Rb, Cs. В таких условиях можно применять поиски месторождений золота, касситерита, вольфрамит, ильменита, киновари по их механическим ореолам рассеяния, а сульфидные руды – лито- и гидрохимическими методами.

Степные ландшафты подразделяются на зоны черноземных и каштановых степей. Для черноземных степей свойственно повышенное количество осадков при их высокой испаряемости. Каштановые ландшафты формируются в условиях более сухого климата при обогащении почв углекислым кальцием. Образование ореолов вторичного рассеяния (и особенно литохимических) позволяет выполнять поиски литохимическими, гидрохимическими, биохимическими, атмохимическими методами. Опробование рекомендуется проводить с поверхности земли.

Пустынные ландшафты возникают в условиях недостатка влаги и высоких температур. Здесь влияние биоклиматических факторов незначительно. На первое

место выступает геологический субстрат. Поэтому распространены глинистые, песчаные, гипсовые, соляно-карстовые, каменные пустыни. В подчиненных ландшафтах развиты такыры, соленые озера, солончаки. Водная миграция элементов, кроме Na, Cl, CO, ослаблена. Поэтому ореолы вторичного рассеяния металлов лубых месторождений почти не возникают, а потому применение литохимических поисков нецелесообразно. Зато успешными оказываются шлиховые и поверхностные геохимические поиски.

Мощность наносов и обнаженность территории

Четвертичный покров при поисках играет двоякую роль. Рыхлый покров может содержать россыпи золота, касситерита, алмаза и других полезных минералов или выполняет роль среды, в которой формируются вторичные ореолы и потоки рассеяния рудных компонентов. Тогда рыхлые отложения являются зоной поисков месторождений, а размещенные в них вторичные ореолы и потоки рассеяния способствуют выявлению перекрытых и скрыто-перекрытых рудных месторождений в подстилающих коренных породах.

С другой стороны, рыхлые отложения сильно затрудняют поиски рудных концентраций в коренном залегании. При возрастании мощности аллохтонных наносов происходит захоронение коренных руд и их ореолов рассеяния. Тогда полностью не проявляются признаки этих руд и их ореолов.

По признакам мощностей перекрывающих рыхлых пород и обнаженности территории разделяются на следующие категории:

1. Площади первой категории. Обнаженные или покрытые маломощными (1–2 м) элювиально-делювиальными отложениями с проявлением открытых ореолов нормальной интенсивности и с другими отчетливо выраженными поисковыми признаками.

2. Площади второй категории. Они перекрыты рыхлыми отложениями (суглинками) средней мощности (до 10–20 м). Здесь проявляются резко ослабленные у дневной поверхности ореолы рассеяния рудного вещества. Другие поисковые признаки слабо проявлены.

3. Площади четвертой категории – это участки, перекрытые покровными суглинками и другими аллохтонными отложениями значительной мощности (до 20–30 м). Они характеризуются проявлением неглубоко погребенных ореолов рассеяния рудного вещества и отсутствием других геологических поисковых признаков.

4. Площади четвертой категории. Это те площади, которые перекрыты мощным чехлом аллохтонных отложений мощностью многих сотен метров. Им свойственны глубоко погребенные ореолы рассеяния рудного материала и отсутствие других поисковых признаков.

Категории площадей учитываются при проектировании и выполнении прогнозных и поисковых работ в том или ином регионе. Большинство традиционных поисковых методов дают хороший эффект только на площади первой категории. При проведении поисковых работ на территориях, перекрытых значительным рыхлым покровом, приходится применять комплекс глубинных геофизических, аэрокосмических исследований с бурением колонковых структурно-поисковых скважин.

2.2. Методы поисков месторождений полезных ископаемых

По характеру пространства, на котором проводятся поиски месторождений полезных ископаемых, различают дистанционные, наземные и подводные методы.

2.2.1. Дистанционные методы поисков

Среди них выделяются аэрометоды и космогеологические методы.

Геологические аэрометоды включают аэровизуальные наблюдения, аэрофотосъемки и десантные операции [Аэрометоды..., 1971]. Носителями регистрирующих и передающих систем дистанционных методов используются фотоаппараты, геофизические приборы, самолеты, вертолеты. Различаются фотометрические методы, обеспечивающие получение яркостной картины наблюдаемых на поверхности Земли природных образований – полей, дистанционные геофизические и геохимические методы исследований, основанные на дистанционной регистрации соответствующих полей. Аэровизуальные наблюдения рекомендуется применять перед началом наземных поисковых работ для общей рекогносцировки, а также во время полевой работы и после её завершения для проверки составленных полевых карт. Аэродесантные операции применяются для выполнения специальных наземных исследований.

Дистанционные фотографические съемки производятся с помощью специальных фотоаппаратов с высокой разрешающей способностью. Используются черно-белые, цветные, спектро- и многозональные фотопленки. Масштабы аэрофотосъемок отвечают 1:200000...1:15000. При аэрофотосъемке ведущим методом работы считается геологическое дешифрирование – выяснение по аэрофотоснимкам данных о геологическом строении снимаемой территории. Эти новые материалы, в свою очередь, используются для выработки комплекса поисковых критериев и определения направления наземных поисковых работ. Иногда на основе изучения аэрофотоматериалов обнаруживается само полезное ископаемое или выявляются геометрические, цветовые и иные признаки, указывающие на его присутствие. Аэрофотоснимки дают информацию о положении рудоконтролирующих и рудовмещающих структур и геологических тел, их форме и условиях залегания.

К числу хорошо освоенных **дистанционных геофизических методов** относятся аэромагнитная, аэрорадиометрическая, аэрогравиметрическая съемки и аэроэлектроразведка разных масштабов. Они обеспечивают уточнение и дополнение геологических карт наземного картирования и способствуют обнаружению новых рудных скоплений. Аэромагнитная и гравиметрическая съемки и поиски обычно проводятся в масштабах 1:200000...1:50000. Выбор масштаба дистанционных исследований зависит от целевого задания, геоморфологии и сложности геологического строения изучаемой территории. По признаку площадного распространения гравимагнитных аномалий выделяют три их типа: континентальные, региональные и локальные. Аномалии вызываются особенностями конкретного разреза земной коры и наличием контрастных геологических тел. Контрастность их связана с различиями в среде физических свойств горных пород в геологическом разрезе. Прежде всего, это касается зон контактов пород с различными магнитными петроплотностными свойствами, которые обнаруживаются как зоны градиентов напряженности гравимагнитных полей.

Аэрогаммасъемка применяется для непосредственных поисков месторождений урановых руд и для оценки радиоактивных пород на больших площадях. Съёмка выполняется в три этапа:

- измерение гаммаизлучения пород на высоте полета и выделение аномалий;
- анализ выявленных аномалий;
- наземная проверка этих аномалий и их геологическая интерпретация.

Масштабы работ отвечают 1:50000...1:10000.

В последние десятилетия получило распространение изучение при аэрогаммасъемке энергетического спектра регистрируемого гаммаизлучения. Оно позволяет с самолета (вертолета) определять природу радиоактивности горных пород (U, Th, K) и рудопроявлений на снимаемой площади. Весьма эффективным поисковым методом является аэрогаммаспектрометрия, изучающая структуру радиоактивного поля, создаваемого горными породами и рудами в нижних частях атмосферы. Радиоактивные руды урана и тория этим методом довольно легко распознаются с воздуха по характеру излучения. Для месторождений редкоземельных элементов, олова, бериллия, бокситов характерны повышенные количества тория. Уран накапливается на месторождениях молибдена, тантала, ниобия, фосфоритов. Накопление калия свойственно медно-молибденовым, полиметаллическим, золотым, золото-серебряным, золото-сурьмяным месторождениям. Поэтому диагностика урановой, ториевой, калиевой природы радиоактивных аномалий позволяет прогнозировать и направлять поиски на конкретное оруденение.

Аэрогаммасъемка проводится в два этапа – фоновая съемка по редкой сети маршрутов через 4–5 км и детальная съемка между маршрутами по сети через 0,25 км.

Космогеологические методы обеспечивают интегральные представления о яркостной картине поверхности Земли в соответствующих диапазонах электромагнитного спектра, регистрируемого специальными приборами. В качестве носителей регистрирующих и передающих систем используются искусственные спутники Земли, автоматические межпланетные станции, пилотируемые космические корабли, долговременные орбитальные станции. По высоте орбиты космические методы делятся на три группы:

- низкоорбитальные, высотой 200–400 км (искусственные спутники Земли, долговременные орбитальные станции);
- среднеорбитальные, высотой 500–1500 км (искусственные спутники Земли);
- высокоорбитальные, высотой 30000–90000 км (искусственные спутники Земли).

Дистанционные космогеологические методы разделяются на фотометрические и дистанционные геофизические и геохимические. Фотометрические методы обеспечивают получение яркостной картины наблюдаемых полей. Эти методы включают черно-белое, цветное и инфракрасное (ИК) фотографирование, телевизионные космические снимки, радарную, радиолокационную, радиотепловую, лазерную, ультрафиолетовую, спектрометрическую съемки и исследование электромагнитной радиации Земли. По характеру исследований они разделяются на три категории: описание ресурсов, поиски ресурсов и контроль окружающей среды.

Основным видом космических наблюдений является **фотографическая съемка** в диапазоне видимого излучения поперечных электромагнитных волн. Используются черно-белые, цветные, спектро- и многозональные фото пленки. Масштабы

фотосъемок отвечают 1:1000000...1:100000. Другой разновидностью фотометрических методов являются фотоэлектронные телевизионные и спектрометрические съемки.

Телевизионные съемки обладают повышенной обзорностью, пониженной разрешающей способностью. Они позволяют выявлять глубинные структуры земной коры – планетарные, трансконтинентальные, региональные линеаменты и глубинные разломы, тектонические глыбы, разнообразные по масштабу и своей природе кольцевые структуры (рис. 1–4). Последовательная детализация данных дистанционных методов наиболее эффективно осуществляется при использовании материалов различных фотосъемок с четырехкратным разрывом в их масштабе. Использование космических снимков при минерагенических исследованиях направлено на выявление рудоконтролирующих структур:

- сводово-глыбовых поднятий, возникших в процессе активизации и определивших минерагеническую зональность концентрического типа (рис. 3, 33);
- линейных сквозных зон, секущих структурный план регионов различного строения, и несущих систему рудоконтролирующих структур (рис. 4, 28);
- очаговых структур магматического происхождения, обладающих радиально-концентрическим строением и контролирующим размещение отдельных рудных узлов и рудных полей (рис. 3, 32).

При выявлении по аэрокосмическим материалам площадей, перспективных на обнаружение полезных ископаемых, существенное значение имеют геометрические особенности изображения того или иного геологического объекта.

Основными методическими приемами использования комплекса аэрокосмических материалов являются: последовательная детализация аэрокосмических материалов от мелкомасштабных к детальным; использование комплекта аэрокосмических материалов разных видов, но близких или одинаковых масштабов, а также дистанционных материалов одного вида, но различных по сезонным условиям съемки; комплексная интерпретация аэрокосмических фотосъемочных, геофизических, геохимических и других материалов.

Спектрометрические съемки производятся с помощью сканирующих систем в узких зонах видимой (и инфракрасной) частей спектра. Инфракрасные съемки проводят фотоэлектронными системами – тепловизорами–тепллокаторами, преобразующими невидимое изображение в видимое на люминисцирующих экранах. Наблюдения выполняют в диапазонах двух «окон» инфракрасного спектра – от 1,8 до 5,3 и от 7,5 до 14 мкм (1 мкм = 110 м), в пределах которых инфракрасные лучи относительно слабо поглощаются в атмосфере. Инфракрасные съемки выявляют элементы ландшафта различной теплоемкости – участки многолетней мерзлоты, тепловые потоки в водах (в диапазоне первого «окна» 1,8...5,3 мкм) и объекты с отчетливо повышенной температурой – зоны вулканической и гидротермальной деятельности, глубинные аномалии линеаментов, кольцевых разломов (в диапазоне второго «окна» 7,5...14 мкм). Они широко используются при дешифрировании космифотоснимков и способствуют выявлению глубинных активных структур земной коры.

Радарные или радиолокационные съемки используются для выявления геоморфологических элементов местности, тектонических зон и дают дополнительную информацию по характеру растительного покрова, оценке водоносных структур и вещественного состава пород. Они основаны на изучении радиоволн длиной от 1 до 100 см, отражаемой от земной поверхности и регистрируемых на борту космическо-

го корабля или спутника. Работы выполняются в масштабах 1:200000–1:10000, а качество снимков практически не зависит от погодных условий.

Космомагнитная и косморadioметрическая съемки. Эти геофизические методы обеспечивают уточнение геологических карт и способствуют выявлению полезных ископаемых.

Космофотоснимки могут принадлежать к таким уровням генерализации, как *глобальному, региональному, локальному, детальному*. Генерализация – это естественный при фотосъемке с больших высот отбор элементов ландшафта и природных объектов, соответствующих масштабу космофотоснимка. Трансформированные космофотоснимки – это снимки, исправленные за угол наклона за счет кривизны поверхности земли, приведенной к заданному масштабу, и имеющие сетку меридианов и параллелей.

Дешифрирование космофотоснимков базируется на принципах геологического дешифрирования аэрофотоснимков с учетом основной их особенности – высокой генерализации, влияющей на отбор дешифровочных признаков. Задачами дешифрирования являются:

- 1) изучение характера тектоники, морфологии структурных форм, их взаимоотношений, генезиса и относительного возраста;
- 2) выявление и прослеживание на территории литолого-стратиграфических комплексов пород, анализ их пространственных и временных соотношений;
- 3) изучение и анализ геоморфологических особенностей территории – генезиса форм рельефа и их возраста;
- 4) изучение ландшафтной оболочки Земли и степени отражения в ней геологических объектов;
- 5) уточнение, детализация составленных геологических карт или создание их новых вариантов.

Различают качественные и количественные методы дешифрирования. Количественное прогнозирование производится на дешифровочных признаках. Они позволяют определять элементы залегания пород, размеры геологических тел, амплитуды перемещения по дизъюнктивам. Дешифровочные признаки подразделяются на *геометрические* и *фотограмметрические*. К первой группе прямых дешифровочных признаков относятся форма, размеры и взаимное расположение геологических тел, а ко второй – цвет объектов и фототон. К косвенным дешифровочным признакам относятся рельеф, гидросеть, почва, растительность, природные территориальные комплексы.

Рельеф является универсальным индикатором новейших тектонических и современных геологических процессов, дизъюнктивных нарушений, пликтивных структур. В результате получается следующая дешифровочная информация: от предварительного определения вещественного состава пород до особенностей тектоники участка и от изучения форм рельефа до их относительного возраста. На космофотоснимках дешифрируются ассоциации пород, соответствующие конкретным формациям и фациям. Отражению на космофотографиях основных литолого-стратиграфических комплексов пород способствует их твердость или устойчивость к выветриванию и выражению в рельефе. Наиболее существенным индикационным признаком различных типов пород является характерный рисунок их поверхности. Он отображает определенные взаимоотношения между окраской пород, формой ре-

льефа, рисунком гидросети, распределением элювия, растительностью и трещиноватостью пород. Выявляются элементы региональной тектоники:

- выделяются структурные комплексы и этажи,
- изучаются разрывы,
- исследуются складчатые формы,
- устанавливается характер развития региона или крупных структур,
- определяется глубинное строение территорий (рис. 1–4, 32, 33, 36).

В открытых районах без растительности большую помощь оказывают цветные фотоснимки. На них месторождения полезных ископаемых обнаруживаются по индивидуальной окраске или цвету элювия-делювия. Хорошим примером может служить отображение медновкрапленных руд месторождения Саиндак в Пакистане (рис. 36). Другим примером являются зелено-серые меденосные песчаники Казахстана, выявленные среди красноцветных безрудных пород. В случае обнаружения полезного ископаемого в элювии по окраске анализ цветных фотоматериалов позволяет оконтуривать возможную область его сноса.

Структурные критерии дешифрирования служат определяющими при выделении участков на поиски месторождений руд в платформенных и складчатых регионах. К разрывным структурам чаще приурочены дайки, кварцево-сульфидные жилы, зоны прожилково-вкрапленной минерализации. Кварцевые жилы выделяются светлыми полосами–линиями по свалам кварца. Вдоль рудоносных даек наблюдаются оторочки контактово-измененных пород. На космофотоснимках видны зоны выклинивания разрывов. На их продолжении могут располагаться трещины с цепочками рудных тел или структуры типа «конского хвоста». Такие структурные обстановки благоприятны для нахождения рудных месторождений. Складчатые структуры дешифрируются в форме диапировых куполов, изгибов складок, гребней складок, флексур. В закрытых районах они выделяются по аномалиям в строении ландшафтов и по морфоструктурам. В складчатых регионах анализ рисунка слоистости и пластовых фигур иногда позволяет определять форму складок в плане и выявлять падение слоев. Это дает возможность отстраивать карты отдешифрированных маркирующих горизонтов. Неоструктурные элементы выявляются по аномалиям в рисунке гидросети, в строении долин, в облике денудационного рельефа, по почвенным и геоботаническим признакам. Тогда появляется возможность составления схем неотектонических структур в том или ином регионе (см. рис. 32, 33).

Для многих типов рудных месторождений устанавливается пространственная связь с разломами глубинного заложения и интрузивами, фиксируемыми на космофотоснимках. На мелкомасштабных космоснимках выделяются линеаменты (рис. 2, 4). На более детальных космофотоснимках отражается сложное строение зон линеаментов, состоящих из серии кулисообразных разломов и оперяющих их трещин. Нередко разломы прослеживаются дальше, чем показано на тектонических картах. С ними могут быть связаны проявления рудоносных интрузивов, поясов даек, рудоносных метасоматитов (рис. 5). Анализ положения рудных объектов по отношению к отдешифрированным по космоснимкам структурным элементам позволяет выявлять рудоносные структуры и отдельные месторождения. Такие рудоносные площади обычно тяготеют к узлам пересечения продольных рудоконтролирующих, диагональных и поперечных рудоконцентрирующих глубинных разломов, к резким коленаобразным изгибам структур. В других случаях материалы космических фотосъемок позволяют с высокой точностью отдешифрировать контуры рудоносных интрузивов.

живных тел, зон минерализованных метасоматитов, рудоносных магматических куполов, еще не вскрытых эрозией.

Например, космические поиски полиметаллических руд в Калифорнии (США) показали высокую их эффективность. Анализ космических данных по этому региону проводился такими методами:

- 1) общим обзором земной поверхности, способствующим восприятию регионального геологического строения и взаимоотношений пород;
- 2) идентификацией многочисленных техногенных и геоморфологических деталей;
- 3) выделением слабых аномалий, благоприятных на полезные ископаемые;
- 4) корреляцией отражательных способностей пород с закартированными литолого-стратиграфическими подразделениями или зонами гидротермально измененных пород;
- 5) выделением площадей, рекомендуемых для поисков рудных месторождений. В результате на фотокосмоснимках были выявлены кольцевая структура диаметром 8 км и ряд линейных линеаментов.

Кольцевая структура расположена внутри плутона кварцевых монзонитов. Палеозойские осадочные породы откартированы по серо-зеленому и синему тонам, а зона интрузива – по коричневому, палеозойские метаморфиты – по белому. Зафиксированные аномально яркие отражения, видимо, обусловлены прослоями глинистых пород, известняков и доломитов, измененных гидротермальными процессами. По высоким значениям коэффициента отражения на снимках определялись зоны проявления метаморфизма, метасоматоза и оруденения. На основе этих данных были выделены новые рудоперспективные участки, на которых затем при поисковых работах были обнаружены месторождения полиметаллических руд.

Другим хорошим примером успешного прогноза полезных ископаемых дистанционными космическими методами, выполненные А.А. Поцелуевым, Ю.С. Ананьевым, В.Г. Житковым и др. [2007 г.] являются Рудно-Алтайские рудные регионы. Проводились прогнозные исследования на полиметаллические руды в Зырянском и Лениногорском рудных районах. Детальное дешифрирование космofотоснимков различного масштаба с полевыми ревизионными наблюдениями позволило выделить линейные, кольцевые, дуговые и другие очаговые, блоковые структуры, несущие признаки рудных объектов.

Выполненный анализ и интерпретация материалов космических снимков позволили выделить разномасштабные структуры, контролирующее положение рудных узлов и рудных полей известных месторождений. Дополнительно намечены новые рудоперспективные площади на поиски скрытого оруденения. Исследования показали, что наряду с общими факторами структурного контроля оруденения, включающие линейные и кольцевые структуры, в каждом исследованном районе выявлены индивидуальные черты, обусловленные особенностями геологического строения. Но общими для Зырянского и Лениногорского рудных районов оказались следующие признаки оруденения:

- 1) связь с крупными кольцевыми структурами диаметром 100 км и более. Месторождения располагаются в 25–40 км от их центров;
- 2) связь с кольцевыми структурами меньшего размера, которые приурочены к малым интрузиям. Диаметр этих структур в Зырянском районе не превышает 20 км, а месторождения располагаются в 1–3 км от их центров, а в Лениногорском – до 20...80 км;
- 3) связь с линейными структурами и зонами повышенной линейаризации меридиональной, северо-восточной и северо-западной ориентировки и участками их со-

пряжения. В Лениногорском районе также проявилась связь с субширотными структурами.

Особенностью Зырянского района является линейно-блоковое строение и наличие очаговых структур. Для Лениногорского района характерны «тектонические линзы–блоки». По материалам среднего пространственного разрешения космоснимков для Лениногорского района установлена связь оруденения с такими структурами:

- крупными кольцевыми структурами диаметром 100 км и более;
- кольцевыми структурами диаметром 20...80 км;
- меридиональными, широтными, северо-западными, север-северо-западными, северо-восточными линейными структурными участками наибольшей плотности линеаментов;
- участками концентрации тел малых интрузий в обрамлении крупных тектонических линз–блоков.

Кроме того, данные дистанционного зондирования высокого разрешения дали новую геологическую и прогнозно-поисковую информацию: рудные объекты связаны с северо-восточными, широтными, северо-западными линейными структурами; линейно-вытянутыми телами эффузивно-осадочных пород между основными тектоническими линзами; участками смены простираения слоистости с северо-западного на широтное; кольцевыми структурами, дугowymi элементами вулканно-плутонической природы. Эти выявленные закономерности выступают в качестве прогнозно-поисковых критериев перспективных на полиметаллическое оруденение участков ранга «рудный узел – рудное тело».

Итак, информация, заложенная в материалах аэрокосмических съемок, позволяет существенно расширять продуктивные на оруденение площади, намечать новые участки, перспективные на поиски разнообразного эндогенного и экзогенного оруденения. Анализ возможностей дистанционных методов показывает, что они могут успешно использоваться при составлении геологических и специализированных структурно-формационных карт. Такие карты уточняют условия ведения поисково-съёмочных, поисковых и оценочных работ, а также служат новой основой для определения и уточнения благоприятных на то или иное оруденение предпосылок, признаков промышленной рудоносности и для выделения новых рудоперспективных площадей.

2.2.2. Наземные методы поисков

Наземные методы поисков месторождений полезных ископаемых являются наиболее распространенными. Они включают следующие группы – геологические, геохимические, физико-химические, геофизические, технические–горно-буровые методы. Среди геологических методов различаются визуальные поиски, метод геологической съемки, геолого-минералогические – обломочно-речной, валунно-ледниковый, шлиховой методы. Геохимические методы включают литохимический, гидрохимический, биохимический и атмосферический; физико-химические – декрептометрический (или декрептофонический), термобарогеохимический; геофизические – магнитометрический, гравиметрический, сейсмометрический и электроразведочные.

Геологические методы поисков

Геологические методы поисков месторождений полезных ископаемых основаны на искаживании местности и выявлении непосредственных признаков промышленного оруденения, на геологическом картировании площадей, на изучении условий образования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, на результатах геолого-минералогического изучения собранного каменного материала. Методы разделяются на визуальные маршрутные поиски, метод геологической съемки и геолого-минералогические методы поисков на основе изучения ореолов и потоков механического рассеяния рудного вещества – обломочно-речной, валунно-ледниковый, шлиховой методы.

Визуальные поиски полезного ископаемого включают: метод прямого обнаружения рудных выходов путем площадного искаживания местности и тщательного осмотра пород в естественных обнажениях и высыпках; метод лоткового (ковшевого) опробования рыхлых отложений и протолочек пород с визуальной проверкой наличия рудных и сопутствующих минералов (по существу это является разновидностью и прототипом шлихового метода); методы выявления и прослеживания косвенных визуальных признаков оруденения по горным породам, водам и растительности.

Известные с глубокой древности визуальные методы поисков сохранили свое значение до настоящего времени. Они являются составной частью любого комплекса геологосъемочных и поисковых работ. Особо велика их роль при мелко- и средне-масштабных геолого-прогнозных исследованиях в слабо изученных районах, где шансы на открытие новых месторождений визуальными наблюдениями наиболее высоки. При крупномасштабных исследованиях рудных районов визуальные методы поисков полезных ископаемых включаются в состав геологосъемочных работ масштаба 1:50000 (1:25000). Геологическая эффективность визуальных поисков зависит, прежде всего, от опыта и знаний геолога, а также от сложности геологической обстановки. То есть от степени обнаженности района, характера рельефа и речной сети, от интенсивности эрозионных процессов, геолого-формационного типа месторождений, морфологии и условий залегания рудных тел и других факторов. Успеху поисков способствуют хорошая обнаженность района, активная эрозионная деятельность современной гидросети и наличие месторождений, представленных устойчивыми к химическому разложению рудами и минералами. К числу таких месторождений относятся природные скопления минералов железа, титана, хрома, золота, платины, олова, тантала, ниобия, вольфрама, алмазов, корунда и другие. Месторождения, сложенные легко разрушающимися рудами, обнаруживаются визуальными методами только в свежеродированных участках речных долин и на крутых горных склонах. На площадях сильно задернованных, залесенных, заболоченных и перекрытых мощными наносами, а также в пенебленизированных районах с одряхлевшей речной сетью визуальные методы поисков малоэффективны и даже безрезультатны.

Геологическая съемка, результаты которой представляются в виде кондиционной геологической карты того или иного масштаба, дает возможность выявить условия образования, закономерности размещения месторождений полезных ископаемых и их поисковые признаки. На этой основе и результатов поисков дается оценка промышленной продуктивности изучаемых площадей. Метод геологической съемки предусматривает систематическое маршрутное изучение района по принятой геологосъемочной сети, геолого-тектонический анализ, литолого-фациальные, палеогеографические и минералого-петрофизические исследования, а также составление специальных минерагенических карт. Последние составляются с целью прогнозирования и научного обоснования поисков месторождений полезных ископаемых. При поисках эндогенных месторождений главную роль играют структурно-минерагенический анализ, а при поисках осадочных месторождений – литолого-фациальный и палеогеографический методы исследований.

Геологическое картирование является предметом специального учебного курса, а поэтому методика и технология его выполнения здесь не рассматривается. Остановимся лишь на основных требованиях, которые предъявляются к геологическим картам с точки зрения поисков. Они сводятся к следующим положениям.

1. Маршрутные исследования должны быть системными и содержать исчерпывающую информацию о признаках проявления полезных ископаемых.

2. Геологическая карта должна быть кондиционной. Содержание её должно отвечать масштабу работ. Точки наблюдений должны распределяться равномерно по всей территории работ со сгущениями при прослеживании важнейших геологических элементов и в местах обнаружения полезных ископаемых или их признаков.

3. Геологическая карта должна содержать все геологические элементы, имеющие в районе значения поисковых критериев и признаков оруденения: рудовмещающие пачки, горизонты пород, и их структурные элементы, рудоносные разломы, складки, магматиты и их контакты, гидротермально измененные породы, первичные и вторичные ореолы рассеяния минералов и рудных элементов, выходы полезных ископаемых.

Совокупность таких требований и сведений по территориям позволяет уверенно выявлять условия образования и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых, определить потенциальные перспективы рудоносности района и наметить рациональный комплекс дальнейших поисковых работ.

Обломочно-речной метод

Данный метод основан на изучении аллювиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния рудного вещества. Сущность его состоит в обнаружении обломков руды или сопутствующих индикаторных пород и минералов, например, метасоматитов, и в их систематическом прослеживании вплоть до коренных выходов месторождения. Прослеживание руд осуществляется таким путем. Геолог, встретивший рудные обломки в аллювиальных отложениях, продвигается вверх по реке и тщательно осматривает русловые, долинные и террасовые отложения. Места обнаружения рудных обломков отмечаются на карте и описываются в дневнике. Указываются: размер, окатанность обломков, их минеральный состав, частота встречаемости. Исследуются все примыкающие водотоки и их притоки, пока не обнару-

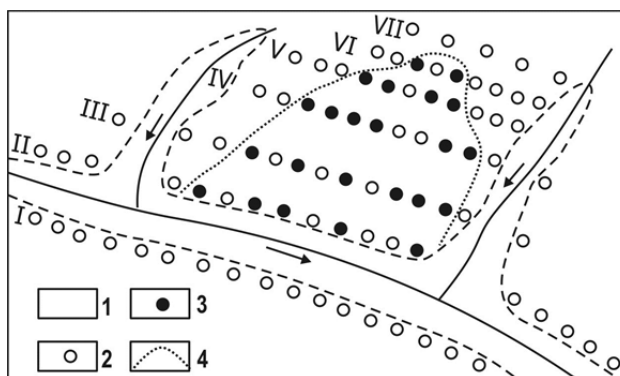


Рис. 97. Минералогическое и геохимическое опробование делювиальных отложений при обломочно-речном методе поисков коренных проявлений золота в скарнах.

1 – граница между аллювием и делювием; 2 – закопушки для отбора проб; 3 – закопушки, в которых встречены обломки золотоносных гранат-диопсид-волластонит-магнетитовых скарнов; 4 – граница делювиальной россыпи золотоносных скарнов. Римскими цифрами обозначены линии закопушек и последовательность их проведения

жаты признаки близости коренного месторождения. Типичными признаками служат увеличение размера и отсутствие окатанности рудных обломков или гидротермально-измененных пород, исчезновение их выше по течению реки, притока. Затем тщательно изучаются делювиальные и элювиальные отложения склонов. Маршруты располагаются по горизонталям рельефа вкrest вытянутости ореола рассеяния рудных обломков (рис. 97). Для выявления размера контура ореола проводятся поверхностные горные выработки – расчистки, закопушки, шурфы, каналы. При пологих склонах долин, переходящих в слабо обнаженное водораздельное пространство, для обнаружения коренных выходов месторождения используют шлиховой и геохимический методы. Обломочно-речной метод поисков рудных месторождений обычно используется в комплексе с геологической съемкой.

Валунно-ледниковый метод

Этот метод используется для поисков месторождений полезных ископаемых в районах развития ледниковых отложений. Основанием для постановки поисковых работ служит обнаружение обломков руд или индикаторных пород – околорудных метасоматитов при геологической съемке, дорожных и других работах. Поиски выполняются в несколько этапов. Сначала изучают ледниковые отложения в местах находок рудных валунов.

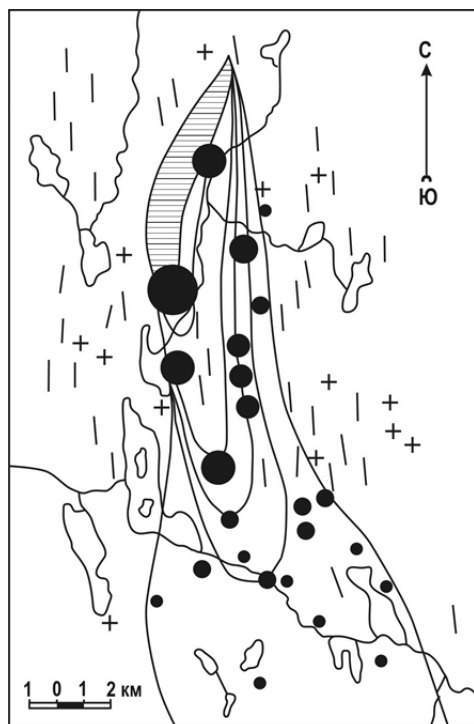


Рис. 98. Изображение валунного веера и результатов подсчета валунов (в %) в пределах конуса их рассеяния (по Магнусону).

Вертикальной штриховкой показаны коренные породы

Исследуется геоморфологическая обстановка, состав валунного материала, следы движения ледника по коренным породам (возникают «бараньи лбы», ледниковые шрамы на глыбах) и выявляется направление сноса обломочного материала. Затем намечаются маршрутные линии. Их располагают поперек направления движения ледника. По этим линиям изучают встреченный на поверхности валунный материал, шурфами вскрываются и исследуются моренные отложения. Все места обнаружений обломков руд и пород – спутников оруденения наносят на топографическую карту, определяют контуры ореола рассеяния рудных валунов (рис. 98). Полученные материалы сопоставляют с геологической картой и определяют возможное местоположение источника возникшего разноса рудного вещества. Последующие поисковые работы выполняются на ограниченной площади, выявленной «валунными поисками». Они направлены на обнаружение коренных выходов рудных тел. Эта задача решается с помощью шурфов и каналов (если небольшая мощность рыхлых отложений) или комплекса геофизических работ с проверкой выявленных аномалий буровыми скважинами или горными выработками (при значительной мощности покрова ледниковых отложений).

с помощью шурфов и каналов (если небольшая мощность рыхлых отложений) или комплекса геофизических работ с проверкой выявленных аномалий буровыми скважинами или горными выработками (при значительной мощности покрова ледниковых отложений).

Шлиховой метод

Применение данного метода основано на изучении механических шлиховых ореолов рассеяния при эрозии коренных пород. Сущность его заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений, на изучении состава шлихов, прослеживании и оконтуривании ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых. Достоинствами шлихового метода поисков руд являются:

- 1) установление в рыхлых отложениях ценных минералов, их типоморфных особенностей и минеральных парагенезисов эродируемого коренного источника, что позволяет судить о генетическом типе месторождений;
- 2) возможность выявления в рыхлых отложениях ценных минералов по минералам-спутникам оруденения, например, пиропы и пикроильменита для алмаза, хромшпинелидов для хромита и платиновых металлов, пирита и арсенопирита для золоторудных объектов;
- 3) возможность суждения о близости коренного источника по степени окатанности обломков, сохранности различных минералов и морфологии ореола рассеяния полезных минералов;
- 4) высокая разрешающая способность шлихового анализа.

Поэтому в практике поисковых работ оформилась шлиховая съемка.

Шлиховая съемка включает следующие операции: выбор места взятия проб, отбор этих проб, их обогащение (получение шлиха), изучение шлихов, документация опробования, обобщение и анализ результатов шлихового опробования.

Место взятия проб определяется геоморфологическими, геологическими факторами и масштабом поисковых работ. Шлиховые пробы обычно отбираются из русловых и долинных отложений в нижних частях крупных намывных берегов, участках замедления или завихрения водного течения, в местах расширения русла реки, за выступами крутых берегов, ниже крутых её поворотов, потоков и перекатов реки. Шлиховые минералы концентрируются также в верхних по течению и в выпуклых частях речных кос. Благоприятны для отбора проб отрезки русла реки, где чередуются выходы коренных пород с минимальными участками аллювия, которые обычно обогащены шлиховыми минералами. Существенное значение имеет характер поверхности коренных пород – плотика реки, на которых залегают аллювиальные отложения. Именно ребристая поперечная поверхность – сланцеватость пород, их кавернозность благоприятны для накопления шлиховых минералов.

Важное значение имеет гранулометрический состав рыхлых отложений. Шлиховые минералы содержатся преимущественно в галечниках, гравии и несортированных крупнозернистых песках с галькой. Глины и отсортированные пески обеднены шлиховыми минералами и поэтому обычно не опробуются.

Большое значение при выборе мест опробования имеет состояние речной сети. В условиях юной и омоложенной гидросети надежные результаты дает опробование кос, русловых отложений, конусов выноса, подмываемых бортов пойменной и более высоких террас. Пробы отбираются равномерно, в соответствии с масштабом поисков как по основной реке, так и по её притокам. При исследовании рыхлых отложений зрелой реки опробование кос и русловых отложений не дает надежных результатов. В этих условиях пробы отбираются в более глубоких долинных отложениях из закопшек и шурфов, пройденных до уровня грунтовых вод. Часть проб отбирается из пло-

тика. При изучении широких долин пробы отбирают по линиям поперек водотоков. Расстояния между линиями должны превышать расстояния между пробами в 20–50 раз. Учитываются геоморфологические факторы, определяющие повышенную концентрацию шлиховых минералов, то есть места расширения долин, резкого выполаживания продольного профиля выше и ниже впадения крупных притоков.

При шлиховом опробовании рыхлых отложений учитывается и метеорологическая сезонная обстановка. Наиболее благоприятными являются время отбора шлиховых проб в периоды быстрого спада воды в реках после половодья. Неблагоприятны периоды высокого уровня воды, когда большая часть кос и русловых отложений недоступна для опробования.

В равнинных районах, где речная сеть развита слабо, пробы отбираются из приповерхностных рыхлых отложений, из выбросов кор выветривания, щебнистого материала. На территориях развития мощного покрова рыхлых отложений (десятки метров) шлиховые пробы поступают из буровых скважин, проводимых до коренных пород. Дополнительно изучаются фракции тяжелых минералов из протолочек, отобранных из коренных пород. В анализ всего шлихового материала вовлекается информация по всем геологическим факторам, охватывающим критерии и признаки оруденения в регионе.

Густота сети шлихового опробования зависит от геологической обстановки, детальности поисковых работ и степени развития гидросети. Число шлиховых проб на 100 км² площади съемок масштаба 1:200000 составляет 6...24; для 1:100000 – 25 и для 1:50000 – 100...500 штук. При детальном шлиховом съемке на 1 км² приходится от 150...250 и до 250...500 и более 500 проб при масштабах работ 1:10000, 1:5000 и 1:2000.

Детальные шлиховые съемки проводятся на ограниченных перспективных участках. В этом случае опробованию подвергаются аллювиальные отложения водотоков, а также делювий и элювий речных склонов. Места отбора проб из долинных речных отложений выбираются по тем же признакам, что и при шлиховых поисковых работах более мелкого масштаба 1:10000. Пробы из делювия отбираются по поисковым линиям, ориентированным поперек ожидаемого шлихового ореола полезных минералов, а из элювия пробы берутся по квадратной сети 20×20 или 50×50 м.

Пробы из рыхлых отложений отбираются лопатой близких объемов. Для сравнимости получаемых результатов объем таких проб должен быть одинаковым и составляет 0,02 м³ при массе 30–32 кг. При опробовании террасовых отложений пробы отбирают бороздой секционно по мощности от каждой литологической разности слоистых пород.

Обогащение проб, то есть получение конечного шлиха, при наличии воды производится на месте их отбора. Для этого пробы промывают в воде с помощью специального лотка (или азиатского ковша) путем растирания материала пробы и его отмучивания. Легкие глинистые частицы при этом всплывают и уносятся водой, а крупные гальки, не содержащие рудных минералов, выбрасываются. Оставшийся материал обогащается путем осторожного покачивания лотка в воде и встряхивания рыхлого материала для удаления легких частиц. Конечные пробы весом 200–300 г осторожно доводятся в лотке до состояния шлиха весом в десятки граммов. Эти шлихи серого цвета и содержат полезные минералы разного состава.

Промывка пробы на месте отбора проб до состояния черного шлиха не рекомендуется, поскольку могут теряться ценные минералы с небольшим удельным весом. Серый шлик просушивают в жестяном совке на слабом огне, чтобы не проис-

ходило тепловое разрушение некоторых неустойчивых минералов. Затем его пересыпают в бумажный пакет – капсулу и документируют.

Анализ шлихов осуществляется в специальной минералогической лаборатории, но первичный просмотр их с помощью лупы или бинокулярного микроскопа производится в полевых условиях. Результаты такого просмотра и полного анализа шлихов учитываются при поисковых работах. В шлиховой лаборатории пробу разделяют по крупности зерна шлиха. Минералы крупной фракции 0,5 мм идут на визуальное определение, а тонкая фракция поступает на дополнительное разделение по магнитности, плотности минералов, оптических свойств минералов. В магнитную фракцию входят магнетит, титаномагнетит, платина, пирротин; в электромагнитную – пироксены, амфиболы, гранаты, турмалин, ильменит, хромит, гематит, вольфрамит; в тяжелую фракцию – золото, платина, сульфиды, касситерит, шеелит, барит, циркон, монацит, рутил, корунд, апатит, сфен и др. Материалы каждой выделенной фракции изучаются под бинокулярной лупой. Для диагностики минералов используются методы люминесценции, иммерсионные жидкости, микрохимические, рентгеновские и другие методы исследований на рентгеновских микроанализаторах. Кроме качественного и количественного состава пробы, в шлиховой лаборатории дается описание, включающее наличие сростков минералов, форму кристаллов минералов, степень окатанности зерен и другие признаки минеральных форм. Количественная характеристика состава шлиха выражается в весовых процентах, в количестве зерен на шлих, в условных показателях (много, мало, знаки) или в условных баллах. Принятая количественная шкала должна выдерживаться для всех участков региона. Результаты анализов из минералогической лаборатории должны своевременно поступать в поисковую партию (отряд) в течение полевого сезона для использования при поисковых работах.

Все операции шлихового опробования документируются в журнале опробования. В этом журнале отражаются такие данные: дата и номер пробы; место взятия пробы; геоморфологическая характеристика участка отбора пробы – терраса и её высота, нижняя часть косы и т.д.; характер опробованных отложений; объем пробы; результаты визуального просмотра пробы и лабораторного шлихового анализа.

Обобщение материалов шлиховой съемки представляется в виде шлиховых карт – *точечных, кружковых* или *ленточных*. На *точечной карте* точками отмечаются места взятия проб, а индексами указываются обнаруженные рудные минералы (рис. 99). Но такие карты обладают малой информативностью. На *кружковых картах* у места взятия пробы изображается кружок, размеры которого пропорциональны объему пробы. Кружки делят на сектора, количество и размер которых отражает количество и содержание минералов шлиха (рис. 100). Каждый сектор штрихуется или раскрашивается условным цветом. Такие карты более наглядны и информативны, но неудобны для мелкомасштабных карт, поскольку кружки перегружают карту. *Ленточные карты* наиболее компактны и выразительны. На них в местах отбора проб пропорционально количеству обнаруженного полезного минерала проводят линии поперек реки. Затем боковые части линий соединяют, получая ленты, ширина которых отражает изменение содержания полезного компонента по течению реки или по направлению опробования на склонах (рис. 101).

Нередко на шлиховые карты наносят дополнительно главные поисковые предпосылки и признаки коренного оруденения, например, возможные рудоносные интрузивы и их контактовые зоны, зоны метасоматитов, продуктивные горизонты вулканогенно-осадочных толщ, рудолокализирующие структуры, рудные гальки, места

находок руды в элювиально-делювиальных отложениях, выходы рудных тел под наносы, действующие и законсервированные рудники, прииски и другие данные.

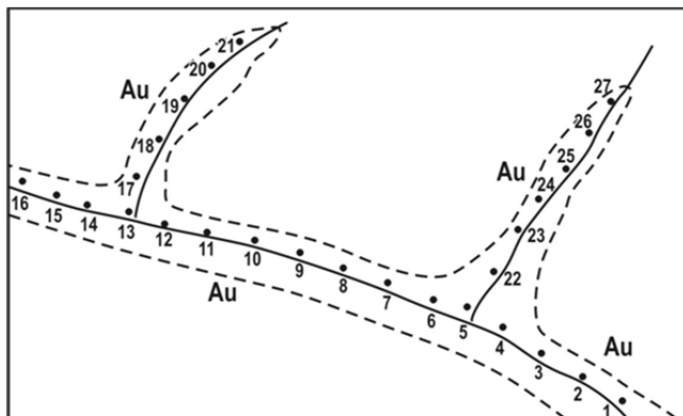


Рис. 99. Точечная шлиховая карта

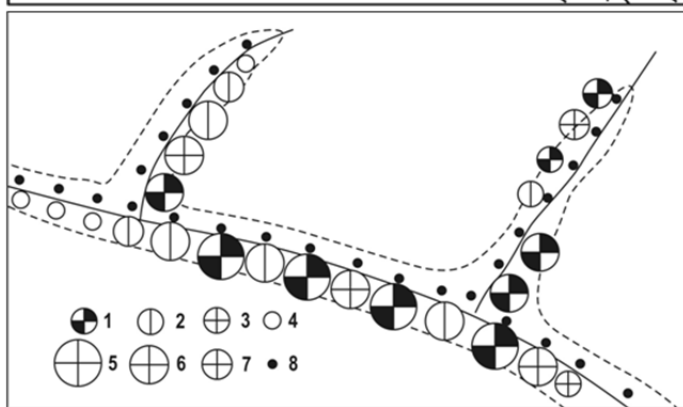


Рис. 100. Круговая шлиховая карта:

1 – золото, 2 – шеелит, 3 – гранат, 4 – золото, шеелит и гранат отсутствуют, 5 – много минерала, 6 – среднее количество минерала, 7 – малое количество минерала, 8 – место отбора проб

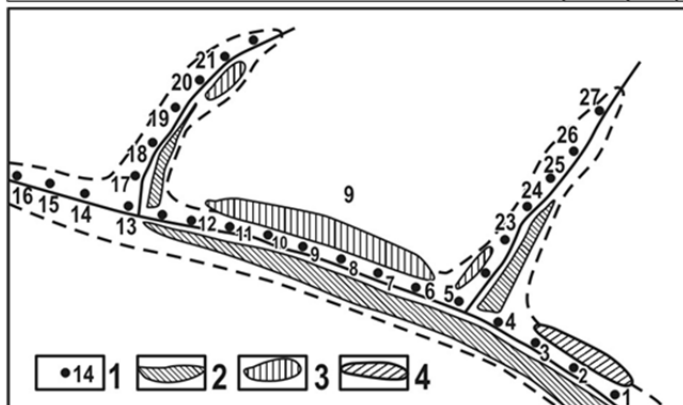


Рис. 101. Ленточная шлиховая карта:

1 – номер и место отбора пробы, 2 – золото, 3 – шеелит, 4 – гранат

К шлиховой карте прикладываются геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений. Если такие карты отсутствуют, то на шлиховую карту наносят речные террасы, участки древнего аллювия, ледниковые образования. При опробовании склонов долин и водоразделов шлиховые карты составляются в изолиниях содержания полезных минералов. Такие карты дают представление о морфологии и масштабе ореолов рассеяния рудных минералов и позволяют установить места максимальной концентрации продуктивных минералов.

Материалы шлиховой съемки позволяют обнаруживать россыпные и коренные месторождения полезных ископаемых или наметить перспективные участки для их поисков. О наличии россыпных месторождений свидетельствуют такие данные как

повышенное количество полезного минерала (минералов) в рыхлых отложениях; благоприятная геоморфологическая обстановка для накопления минералов; наличие в районе источников россыпей или благоприятных предпосылок для обнаружения коренных месторождений полезных ископаемых. На близость коренного месторождения указывают повышенное содержание полезного минерала на отдельных участках региона при резком сокращении количества его вверх по склону или по течению реки, в верхних частях его ореола рассеяния; наличие в шлиховых пробах ассоциаций минералов, свойственных коренным рудам региона или ожидаемым геолого-промышленным типам месторождений; уменьшение степени окатанности зерен минералов и наличие в шлихе минералов и минеральных сростков, неустойчивых в поверхностных условиях. Эмпирически установлено, что касситерит обнаруживается в аллювии на расстоянии первых десятков километров от первоисточника; вольфрамит – до 8 км от коренного месторождения, золото, особенно тонкораспыленное в минералах, может транспортироваться в аллювии на десятки-сотни километров, а крупное золото до 1–4 км.

Важнейшими показателями возможности обнаружения коренных месторождений полезных ископаемых является комплекс геологических, минералогическо-петрографических критериев и признаков промышленного оруденения – наличие рудоносных магматитов и метасоматитов, благоприятные геолого-структурные обстановки, проявления зон гидротермальной минерализации, геохимические ореолы рассеяния минералов и элементов. Минеральные ассоциации шлиха в этом случае позволяют судить о формационном и геолого-промышленном типах ожидаемых рудных месторождений. Например, в шлиховых ореолах рассеяния руд скарновой формации будут находиться шеелит, гранат, пироксены, амфиболы, везувиан и сульфиды вблизи вольфрамовых контактовых месторождений. Наличие в рыхлых отложениях касситерита, тантало-ниобатов, сподумена, турмалина, монацита, лепидолита будет указывать на пегматитовый тип оруденения. Кроме того, для суждения о типе ожидаемого месторождения можно использовать формы кристаллов, типоморфные физические и химические признаки шлиховых минералов и т.п.

Геохимические методы поисков

Достоинствами геохимических методов поисков являются большие возможности использования их на разных стадиях геологоразведочного процесса и в широких диапазонах ландшафтно-климатических обстановок, обнаженности и расчлененности рельефа изучаемых регионов, а также объективность, высокая информативность и оперативность исследований. Методы позволяют быстро определять весьма низкие концентрации химических элементов в любых природных материалах по большому числу проб и выявлять аномальные участки с повышенными содержаниями полезных компонентов. На выявлении и оконтуривании таких рудных аномалий, выявляющих ореолы рассеяния металлов коренных месторождений, и основаны геохимические методы поисков. Использование разнообразных геохимических данных при составлении прогнозных карт повышает глубинность прогнозирования руд до 1 км, что особенно важно при поисках скрытого оруденения.

В зависимости от типов ореолов рассеяния элементов выделяются такие геохимические методы поисков как *литохимический*, *гидрохимический*, *биохимический*,

атмохимический и *термобарометрический*. Среди них важнейшее значение в практике работ имеет литохимический метод поисков, позволяющий производить оценку рудоносных структур на количественной основе.

Литохимический метод использует первичные и вторичные ореолы рассеяния химических элементов в горных породах. Задача сводится к тому, чтобы на фоне среднего содержания элемента (фоновое) для района выявить аномальные участки с повышенными параметрами рассеяния элемента. Сущность метода состоит в систематическом опробовании пород с целью определения в них содержания рудных элементов и выявления характера и формы ореолов и потоков рассеяния. На основе изучения ореолов рассеяния элементов с учетом геологической, минерагенической и геоморфологической обстановки выявляются участки, перспективные на выявление коренных месторождений полезных ископаемых. По первичным литохимическим ореолам элементов можно выявлять как выходящие на поверхность, так и скрытые рудные тела. По вторичным ореолам и потокам рассеяния выявляются месторождения и отдельные рудные залежи, скрытые под рыхлыми отложениями. Этот метод включает следующие операции:

- выбор мест возможного оруденения и плотности сети опробования,
- отбор и обработку проб,
- анализ проб,
- обобщение и интерпретацию результатов литохимического опробования.

Выбор места взятия проб и густоты сети опробования определяются проектным заданием и характером проявления ореолов рассеяния минералов и элементов. Исследования по ореолам эндогенного и экзогенного рассеяния рудного вещества проводятся преимущественно на стадиях детальных геологосъемочных, поисковых, оценочных и разведочных работ, а также при выполнении специальных минерагенических работ. Пробы отбираются из рыхлых или коренных пород по линиям геологических маршрутов, предварительно инструментально разбитых или привязанных к местности специальными навигаторами. Опробование по коренным породам осуществляется в наиболее перспективных участках, достаточно хорошо обнаженных или вскрытых горными выработками, картировочными или структурно-поисковыми скважинами. Такие площади охватывают, прежде всего, эндо- и экзо-контакты рудоносных интрузивов, вулканоплутонических очаговых структур, зон метасоматитов, черносланцевых горизонтов, минерализованных блоков терригенно-вулканогенных синклиналей, продуктивных фаций осадочных пород и др.

При изучении вторичных литохимических ореолов пробы отбираются из рыхлых отложений с учетом их генезиса, геологической обстановки и геоморфологической условий района. В условиях горного рельефа с хорошо развитой гидросетью наиболее благоприятны для опробования тонкие илисто-глинистые фракции аллювия – донные осадки мелких рек, ручьев, сухих логов, конусов выноса делювиальных и аллювиальных отложений. Таким путем изучаются потоки рассеяния, которые прослеживаются нередко на более значительные расстояния по сравнению с ореолами рассеяния крупных рек, где рудные компоненты быстро разубоживаются до фоновых содержаний. Изучение потоков рассеяния рудного вещества получило название **метода поисков по донным осадкам**. В условиях платформ с мощным чехлом рыхлых отложений и в пенепленизированных областях со слабо развитой гидросетью поиски по донным осадкам неэффективны.

При малой мощности рыхлого покрова изучение вторичных ореолов рассеяния

полезных компонентов производится путем отбора проб из верхнего слоя элювия и делювия. Глубина отбора проб меняется от 15–20 см в сухих и засушливых районах с нейтральными серозёмами и чернозёмами до 40–80 см в районах с влажным климатом и подзолистыми серыми и бурыми лесными почвами. При детальном поисках, геологических оценочных работах рациональную глубину опробования определяют экспериментально по типовым площадям. При геологических съемках мелкого и среднего масштабов 1:1000000...1:100000 пробы отбираются попутно по линиям геологических маршрутов. Крупномасштабные и детальные геологосъемочные работы масштабов 1:50000...1:10000 выполняются после инструментальной разбивки поисковой сети с размещением поисковых линий вкrest простирания ожидаемых рудоносных структур или с привязкой пунктов отбора проб навигаторами. В условиях мощных наносов (первые десятки-сотни метров) погребенные ореолы рассеяния изучаются по керну картировочных скважин. Специальные литохимические съемки в таких условиях выполняются только на заведомо перспективных площадях.

Густота сети опробования при литохимическом методе поисков определяется масштабом исследований. Расстояние между маршрутами – профилями и пробами по профилям колеблется от 18...1 км до 100...50 м, в масштабах работ 1:1000000...1:100000 до 500...10 км и 50...5 м при масштабах 1:50000...1:1000 (табл. 8).

Таблица 8

Густота сети опробования при литохимическом методе поисков

Масштаб исследований	Расстояние между маршрутами или профилями	Расстояние между пробами по маршрутам или профилям, м	Число проб на 1 км ²
1:1000000	12–18 км	100	1
1:500000	6–4 км	100	2
1:200000	2 км	100–50	5–10
1:100000	1 км	100–50	10–20
1:50000	500 м	50	40
1:25000	250–200 м	50–20	80–250
1:10000	100 м	20–10	500–1000
1:5000	50 м	20–10	1000–2000
1:1000	10 м	5	20000 и более

Масса или вес пробы и ее характер зависят от вида литохимических исследований. При изучении первичных ореолов пробы представляют собой несколько кусочков коренной породы общим весом 100–150 г. Отбор проб рыхлых элювиально-делювиальных отложений производится из шурфов, закопшек или скважин различной глубины – от 0,2 до 10 м. В пробу отбирается мелкая фракция (менее 1 мм) общей массы 20–50 г. При опробовании донных осадков пробы отбираются в русле водотока или в береговой части его из песка, масса (вес) отдельной пробы составляет 20 г.

Отобранные, занумерованные и задокументированные пробы обрабатываются в лаборатории. Пробы из первичных ореолов измельчают до 0,1 мм и сокращают на две части. Материал первой половины дополнительно истирают до состояния пудры и отправляют на спектральный анализ. Вторая часть пробы сохраняется в качестве дубликата. Пробы вторичных ореолов рассеяния просушивают и просеивают через

сито 1–0,5 мм. Мелкую фракцию массой 15–20 г отправляют в спектральную лабораторию, где ее дополнительно измельчают до состояния пудры.

Обработанные литохимические пробы в виде конечных навесок 20 г подвергают спектральному анализу на 18 или 30 элементов, предусмотренных проектом работ. Обычно при мелко-среднемасштабных съемочных работах количество анализируемых элементов составляет 30–32, а при детальном поисках, когда общая геохимическая ситуация и ожидаемые полезные элементы ясны, оно сокращается до 10–15 химических элементов. Но они должны включать все халькофильные и рудные компоненты. Для одного спектрального анализа требуется навеска 1 г пробы.

Обобщение и интерпретация результатов литохимического опробования заключается в нанесении данных анализов на графические материалы и их изучении. При выполнении маршрутных поисков составляются геохимические разрезы, а при площадных поисках – геохимические карты в изолиниях содержаний проанализированных элементов (рис. 12, 14, 23, 25, 46). Изучение геохимической информации с учетом геологической обстановки и геоморфологических данных позволяет установить местонахождение рудных тел, определивших наличие ореолов рассеяния в регионе. В условиях равнинного рельефа рудные тела обычно размещаются в контуре ореола рассеяния, а на склонах гор – выше по склону, иногда за пределами ореола. Интерпретация вторичных литохимических ореолов предусматривает определение состава руд и возможного уровня среза прогнозируемого оруденения. Обычно остаточные элювиально-делювиальные ореолы по морфологии и составу хорошо коррелируют с первичными ореолами рассеяния, что дает возможность использовать вторичные ореолы при прогнозировании не только для поисков перекрытых (наносы 5–10 м), но и скрытых или слабоэродированных месторождений.

Наложенные сорбционно-солевые геохимические ореолы позволяют прогнозировать рудную минерализацию на глубинах до 100...400 м и более. При изучении и оценке вторичных литохимических ореолов рассеяния определяют их морфологию, размеры, состав, контрастность, продуктивность, зональность, уровень эрозийного среза и оценивают степень перспективности структур на обнаружение промышленных руд. Иногда по вторичным ореолам удается предсказать масштабы скрытого оруденения (рис. 23).

Первичные литохимические ореолы эндогенных месторождений существенно превышают размеры рудных тел и отражают вещественный состав руд. Выявляют количественное соотношение полезных и других компонентов в рудах, зональность в распределении рудных элементов и элементов-индикаторов оруденения (рис. 47, 48, 62, 86–89). Нередко удается установить зональное размещение эндогенных аномалий вокруг рудных тел с обособлением надрудных Ba, Sb, Hg, I, Br, Tl, околорудных Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Se, Cd, Ag, Au и подрудных Ni, Co, V, Cr, Mn, Mo, Sn, W, Be групп элементов (рис. 12, 85, 86). Сравнение типа и параметров ореолов, выявленных при поисковых литохимических работах, с геохимическими моделями эталонных месторождений, дает возможность оценить состав предполагаемых руд, глубину залегания и промышленную значимость скрытого оруденения.

Для геохимических аномалий, обусловленных скрытыми залежами руд, характерно ослабление их контрастности по мере увеличения глубины залегания рудных тел. Иногда линейные геохимические аномалии высокой интенсивности отвечают зонам повышенной дислоцированности пород. Если они сопровождаются слабо контрастными ореолами рудных элементов, то можно предполагать на глубине скрытое промышленное оруденение.

При обработке таких слабых геохимических аномалий используются методы суммарных аддитивных и мультипликативных ореолов с целью усиления их контрастности (см. рис. 85, 89). Нередко при поисках скрытого сульфидного оруденения применяются методы фазового анализа рудных элементов, например, Au, (метод ЧИМ – частичного извлечения металлов и других). Значительные возможности для целей прогноза скрытого эндогенного оруденения заложены в литохимических ореолах йода. Первичные ореолы этого геохимически подвижного элемента имеют значительные размеры и зональное строение. Йод образует наиболее протяженные и далеко уходящие от рудных тел первичные и вторичные ореолы, проникающие через породы – экраны, недоступные для движения основных рудообразующих элементов. Глубинность литохимических поисков руд по эндогенным ореолам йода достигает 700–1000 м.

Гидрохимический метод поисков оруденения основан на изучении гидрохимических ореолов рассеяния рудного вещества эндогенных месторождений полезных ископаемых. Гидрохимические методы применяются при мелко-, средне- и крупномасштабных и детальных поисковых работах, реже при оценочных и разведочных стадиях. Эффективность гидрохимических исследований определяется высокой площадной представительностью гидрохимической пробы, простотой операции, низкой стоимостью и возможностью получить результаты уже в период полевых работ. Этот метод обладает наибольшей среди всех геохимических методов глубинностью, а это позволяет успешно использовать его для поисков скрытого и перекрытого оруденения [Основы гидрогеохимических..., 1983]. Получаемые гидрохимические материалы позволяют выделять перспективные на руду площади в рангах рудного района (при мелко-среднемасштабных исследованиях), рудных узлов, рудных полей (при крупномасштабных работах) и скрытых рудных тел на флангах и глубоких горизонтах известных рудных полей и месторождений. В последнем случае проводятся детальные литохимические исследования.

Недостатком гидрохимического метода является зависимость работ от многих факторов. Например, от количества и продолжительности выпадения водных осадков, времени года, уровня грунтовых вод, интенсивности процессов окисления, активности водообмена, наличия геохимических барьеров, техногенных факторов и др. Наиболее благоприятными для применения этого метода поисков являются горные, предгорные районы, характеризующиеся развитой гидросетью с невысокой общей минерализацией вод до 1 г/л и влажным климатом. Эффективность гидрогеохимических исследований в целом ниже, чем литохимических.

Гидрохимический метод включает отбор проб воды и предварительный анализ их на месте отбора, геологическую и гидрогеологическую документацию опробования, химический и спектральный анализ воды в лабораториях, обработку материалов и интерпретацию результатов опробования.

При геологической съемке масштаба 1:200000...1:100000 пробы воды отбираются преимущественно из водоисточников по долинам крупных рек на участках пересечения ими возможных рудоносных структур – разрывов, интрузивов, их экзо- и эндоконтактовых зон, зон гидротермально преобразованных пород и т.д. Пробы отбираются из грунтовых вод аллювиальных отложений, поверхностных водотоков вблизи коренных берегов и из источников подземных вод. Объем пробы воды зависит от величины получаемого сухого остатка воды (определяется солемером) и колеблется от 0,1 до 1 л.

При геологосъемочных работах масштаба 1:50000...1:25000 и крупнее пробы воды отбираются практически из всех водоисточников, расположенных по долинам рек, речек, ущелий, логов, на водораздельных пространствах, а также из болот. При отсутствии источников для отбора проб воды проходятся шурфы, скважины. Пробы отбирают в чистые бутылки, надежно закрывают и упаковывают. Все пробы документируются в журнале опробования.

Анализ проб воды производится на базе полевой партии. Химическим способом определяются сульфат-ион, хлор-ион, рН, суммы металлов. В стационарных лабораториях определяется общий химический состав воды, выполняются контрольные определения ионов-катионов макросостава вод; анализируются спектральным, полярографическим методами сухие остатки проб на рудные элементы.

При обобщении и интерпретации результатов гидрохимических поисков на геологическую карту наносят все точки опробования, около них условными знаками показывают содержания элементов. Составляются таблицы средних содержаний компонентов в водах, приуроченных к различным комплексам пород. Составляются гидрохимические профили и различные графики содержаний химических элементов. Совокупность таких данных позволяет выделить участки и структуры с повышенными концентрациями металлов и оценить возможную их рудоносность. При проведении гидрохимических работ, интерпретации полученных геохимических данных и прогнозировании возможного оруденения учитываются рН среды, миграционные свойства элементов в разных средах, тип геологической структуры (платформа, щит, складчатая область, зона тектоно-магматической активизации) и природно-климатические условия. Гидрохимические поля рудных месторождений определяются, прежде всего, минеральным и элементным составом руд (рис. 91).

Различают сквозные элементы Cu, Pb, Zn, Co, Ni, As, Sb, которые присутствуют в гидрохимическом поле большинства рудных месторождений, и специальные Li, Sn, Cs, W, Be, Au, Ag и др., подчеркивающие рудную специализацию объектов. Распределение концентраций элементов в поле зональное – в центральных частях гидрохимических ореолов в водах сосредоточены элементы с ограниченным геохимическим диапазоном водной миграции Li, Rb, Cs, Sn, Fe, Pb, Cu, Ce, Co, W, Nb, Sb, а на периферии – элементы с широким миграционным диапазоном (Zn, Mo, B, F, Cl, U и др.) (рис. 18, 91).

Гидрохимические поисковые признаки рудных месторождений разделяются на универсальные, включающие повышенные содержания цинка и сульфат-иона и суммы халькофильных элементов Cu, Pb, Cd, Ag, Co, Ni, Mo, As, Sb; групповые F, Be, Li, Rb, Mo для редкометалльных объектов; уменьшение рН и концентрации HCO_3^- для сульфидных месторождений; специальные, включающие основные элементы рудных скоплений – Li, W, Mo, Be, Ag, Au, Sn, Nb). При мелкомасштабных (1:1000000...1:500000) исследованиях используются только универсальные признаки вод и рН, при среднемасштабных (1:200000...1:100000) – универсальные и групповые признаки, а при крупномасштабных и детальных работах (1:50000...1:2000) – универсальные, групповые и специальные гидрохимические признаки [Основы гидрохимических..., 1983].

Необходимо особо подчеркнуть зависимость гидрохимических исследований от сезонных условий их проведения. Чтобы устранить или ослабить влияние сезонных колебаний водного режима и состава вод, в качестве поискового признака принимается отношение ионов $\frac{\text{SO}_4^{-2}}{\text{Cl}^-}$. Водные ореолы распространяются от сульфидных

месторождений на 0,5–3 км, редко до 8 км [Методы поисков..., 1977]. Над скрытыми рудными залежами гидрохимические ореолы имеют зональное строение с обособлением групп элементов, свойственных надрудным, рудным и подрудным срезам. (рис. 91).

Биохимический метод поисков базируется на изучении биохимических ореолов рассеяния рудных элементов. Метод включает отбор растительных проб, их озоление, анализ золы, обобщение и интерпретацию получаемых результатов. Систематическому опробованию территорий предшествуют экспериментальные исследования, направленные на выяснение того какие части растений в данном регионе оказываются концентраторами металлов – листья, концы веток, кора дерева, корни. Затем растительность на изучаемой территории опробуется по прямоугольной или квадратной сети в масштабе поисковых работ (рис. 9, 93). Например, при биохимических поисках в масштабе 1:10000 расстояние между линиями составляют 100 м, а между пробами по линиям – 20–10 м. Для определения содержаний металлов в золе растений используется преимущественно спектральный метод анализа.

Биохимические поиски рудных месторождений позволяют выявлять биогенные ореолы концентрации рудных элементов или элементов-индикаторов этих рудных объектов в растениях или на их останках. В первом случае они называются фитогеохимическими, а во втором – торфогеохимическими исследованиями. Для исследований используют безбарьерные биообъекты, то есть растения, которые накапливают рудные элементы линейно-пропорционально содержаниям их в питающей среде – в почвах, грунтовых водах. Такие биогенные концентрации в сотни–тысячи раз повышают фоновые содержания элементов в растениях, произрастающих на безрудных площадях. Используются и так называемые практически безбарьерные растения, то есть те, концентрации металлов в которых в 100 раз выше местного фона. Они дают приближенно-количественную поисковую информацию. Собственно безбарьерные растения позволяют получать неискаженную поисковую информацию (рис. 93).

К первому типу растений относятся береза, хвойные деревья, полынь, мох, лишайники. На территориях СНГ они составляют 5% изучаемых растений. Ко второму типу растений принадлежат около 17% от общего растительного покрова регионов. Количественные барьерные характеристики определяют не только вид растения, но и тип его анатомической ткани. Безбарьерными обычно оказываются внешние покровы корней, кора деревьев и стебли трав, а барьерными – листья, молодые побеги, цветы, плоды и семена [Ковалевский, 1984].

Биохимические исследования позволяют выявлять и оконтуривать аномальные участки, отвечающие площадям потенциальных рудных районов, рудных узлов или рудных полей и месторождений в полном соответствии с результатами мелко-среднемасштабных и крупномасштабных, детальных прогнозно-минерагенических и поисковых работ. При интерпретации биохимических данных и прогнозировании промышленного оруденения необходимо учитывать такие особенности:

- 1) количественно-информативные в прогнозно-поисковом отношении рудные биохимические ореолы, которые образуются только в безбарьерных видах и частях растений;
- 2) литохимические ореолы месторождений как основной источник элементов-индикаторов руд;

- 3) аномалии химических элементов, характерных для данного типа оруденения и имеющих индикаторное значение для поисков рудных объектов разного ранга;
- 4) количественные характеристики рудных биохимических ореолов (концентрации рудных элементов, интенсивность их накопления и площадь распространения), которые определяют масштаб оруденения;
- 5) биохимическую съемку, выполняемую в районах с высокой металлоносностью вод, позволяющую прогнозировать тип оруденения;
- 6) глубину залегания ожидаемого оруденения, зависящую от глубины проникновения корневых систем растений (1–30 м), гидрогеологической обстановки участка и от величины восходящей миграции сорбционно-солевых (до 150 м), атмогеохимических и сорбционно-атмохимических ореолов газообразных мигрантов рудных тел (Hg, S, Se, F, Cl, Br, I), достигающей для газорудных ореолов двух километров [Ковалевский, 1984].

Итак, биохимические исследования рассматриваются в качестве одного из прямых глубинных методов поисков рудных скоплений. Они наиболее эффективно используются на стадиях крупномасштабных геологосъемочных, поисковых и оценочных работ. Целесообразность их применения определяется возможностью поисков и оценки оруденения в закрытых залесенных территориях, быстротой получения полезной информации, глубиной (до 70 и более метров) и относительной эффективностью этого метода.

Атмохимические (газовые) методы поисков основаны на изучении распределения газовых компонентов в подземной и приземной атмосфере с целью выявления ореолов рассеяния рудных элементов и элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых. В настоящее время накоплен значительный опыт применения этих методов для поисков месторождений нефти, газа, каменных и бурых углей, ртути, радиоактивных и других руд. При поисках эндогенных рудных месторождений наиболее широко используется газорудный метод.

Известны три группы газов, формирующих атмохимические ореолы рассеяния элементов месторождений полезных ископаемых. Первая группа включает первичные газы – компоненты процессов рудообразования: CO_2 , аргон, H_2S , CH_4 , O_2 , Cl, F, $\text{C}_{\text{орг}}$ и I, Hg, Br. Выделение этих газовых компонентов из рудных ассоциаций месторождений происходит в течение всего периода рудообразования и последующих процессов преобразования руд. Вторую группу составляют газы, поступающие из глубин по тектоническим разломам земной коры и мантии. Такие разломные структуры могут также контролировать образование эндогенных руд. К таким газам относятся CO_2 , гелий, водород, углеводороды, аргон, Hg, Br, I. Они являются продуктами дегазации мантии как результат ядерных реакций в недрах Земли. Ряд газов – радон, торон, актинон, криптон являются продуктами радиоактивного распада элементов. К третьей группе относятся газы, возникающие при формировании зоны окисления на месте эндогенных месторождений. Прежде всего к ним относятся колчеданные и другие сульфидные месторождения. Накапливаются вторичные продукты CO_2 , H_2S , SO_2 , SO_3 , сокращается содержание O_2 в атмосфере зоны окисления рудных месторождений. Происходит восстановление ртутисодержащих минералов до самородной ртути и переход ее в газовую фазу.

Наиболее распространенным газовым компонентом рудных месторождений считается CO_2 . В зоне окисления он является основным продуктом преобразования сульфидных руд и разложения карбонатов. CO_2 выделяется также в процессе жиз-

недеятельности растений и организмов в почве и при окислении органического вещества кислородом вблизи поверхности Земли. Он также является основным компонентом вулканических газов и гидротерм. Среди углеводородов преобладает метан. Он содержится в почвах, болотах, возникает при биохимических и вулканических процессах, при внедрении интрузий. Возникает в гидротермах при взаимодействии водорода или паров воды с углеродом, его окисью и двуокисью. При изучении газовых ореолов постоянно фиксируются углеводороды и прежде всего метан. Водород широко распространен в вулканических газах, залежах калийных солей, в рудных месторождениях различного состава. Он возникает при термальном воздействии интрузий и гидротерм на органику, при глубинном термokatалитическом разложении воды. Сероводород, сернистый газ образуется в зоне окисления сульфидных месторождений, за счет биохимических процессов в океанах, в вулканических газах и гидротермах вулканических ореолов. Аргон характерен для галогенных руд и газовых выделений глубинных разломов.

Газовые поисковые методы активно применяются при поисках эндогенных, калийных солей и угольных месторождений. Например, поиски месторождений каустобиолитов атмосферическим методом производятся на перспективных площадях после региональных геологических съемок и геофизических исследований. На перспективных участках разбивается прямоугольная или квадратная поисковая сеть, в каждом пункте которой при помощи бура и специального газоотборника с глубины 1,5–2 м откачивается подпочвенный воздух. В полученных пробах этого воздуха определяется содержание углеводородов. Результаты опробования выносятся на геологическую карту. По сумме геолого-геофизических данных и результатам газовой съемки выделяются перспективные участки, подлежащие дальнейшему изучению.

Эманиационный метод разработан на измерениях концентрации радиоактивных эманиаций в почвенном воздухе. Радиоактивные эманиации включают радон, торон, актинон, которые распространяются от источника радиоактивного распада в окружающую среду преимущественно диффузионным путем и накапливается в почвах над рудными телами урана, тория. Фоновые содержания радиоактивных эманиаций в почвах обычно составляют от 0,1 до 10 эман, а на аномальных участках в почвенном воздухе могут составлять десятки тысяч эман.

Метод эманиационной съемки территорий обладает высокой чувствительностью и обеспечивает выявление ореолов рассеяния в породах и рудах урана с содержанием в тысячные доли процента. Поэтому этот метод может использоваться для поисков не только урановых, но и других рудных и нерудных месторождений. В таких рудах должно быть хотя бы минимальное количество радиоактивных элементов – U, Th, K. К таким рудам относятся редкометалльные и слюдяные месторождения пегматитов, фосфоритов, бокситов, железных, титановых, ванадиевых, редкоземельных руд. Пробы газа отбираются из рыхлых отложений специальными пробоотборниками из мелких скважин. Глубина опробования зависит от мощности рыхлых отложений и колеблется от 1 до 2 м.

Для прогноза и поисков глубокозалегающих эндогенных месторождений в последние десятилетия активно использовалось изучение ореолов рассеяния свободных паров ртути в почвенной и надпочвенной атмосфере. Источниками газортутных ореолов являются разнообразные рудные месторождения, зоны золото-сульфидной и иной минерализации, зоны глубинных разломов, тела метасоматитов (рис. 92, а, б). Первичные ореолы ртути наиболее интенсивны в надрудных горизонтах сульфидных руд.

фидных месторождений. Здесь продуктивность их в 3–8 раз выше, чем в околорудных и подрудных сечениях.

Гипергенные процессы усиливают газоотделение ртути. Нередко над рудами эндогенных месторождений выявляются ореолы с содержанием ртути в 5–1000 раз больше, чем в окружающих породах. Количество ртути в таких ореолах зависит от температуры газов, формы ее нахождения и от концентрации в твердой фазе, от объемов рудных тел и условий открытости изучаемого участка.

Газортутные поиски проводятся преимущественно на стадиях крупномасштабной геологической съемки и поисков [Фурсов, 1983]. Их используют при соблюдении следующих условий: месторождения прогнозируемые должны быть источниками паров ртути; присутствие тектонических зон, трещинных каналов фильтрации паров ртути; наличие перекрывающих отложений, благоприятных для накопления ртути. Опробование производится по прямоугольной сети поисковых работ в соответствующем масштабе 1:50000...1:2000. Используются пробоотборники (щупы) и компактная аппаратура, фиксирующая содержание ртути в откаченном газе. Исследования показали, что над рудными объектами фиксируются газортутные ореолы в 2–50 раз превышающие фоновые содержания ртути в воздухе. Интенсивность и размеры аномалий определяются влиянием масштабов эндогенного оруденения, составом руд и глубиной их залегания. Газортутными методами можно обнаружить рудные месторождения с ореолами Hg над скрыто-погребенными объектами и даже 600–800 и более метров над скрытыми рудами [Фурсов, 1983].

Ядерно-физические поисковые методы довольно широко используются при геохимических исследованиях рудоносных территорий. Они включают гамма-нейтронный (фотонейтронный), нейтронно-активационный и рентгено-радиометрический разновидности. Эти ядерно-физические методы используются в модификациях поисков по элементам-индикаторам в рыхлых отложениях и в коренных породах. Определены возможности ядерно-физических методов и при исследованиях коры деревьев. Разработана методика пешеходной и автомобильной гамма-нейтронной съемки на бериллий. Автомобильный вариант гамма-нейтронной съемки и определение бериллия осуществляется в литохимических пробах, а также при шпуровой съемке на погребенных под наносами рудных объектах.

Используется методика пешеходной фотометрической нейтронно-активационной съемки по фтору. Она основана на использовании ядерной радиации фтора с потоком быстрых нейтронов. Применяются варианты автомобильной фторометрической съемки, шпуровой съемки, каротаж скважин на фтор. Эти методы исследований могут использоваться при поисках месторождений флюорита, апатита, фосфоритов, сурьмы, ртути, бериллия, олова, вольфрама, молибдена, тантало-ниобатов. Особенно эффективны методы фотометрической нейтронно-активационной съемки при поисках скрытого оруденения на глубинах 100–500 м [А.Н. Горбачев, 1982 г.].

Разработано несколько модификаций пешеходных рентгенометрических поисков на ряд элементов-индикаторов руд благородных, цветных и редких металлов – Cu, Ag, Bi, Pb, W, As, I, Zr, Nb, Mo, Sn, Zn. Для возбуждения рентгеновской люминесценции элементов горных пород используются радиоизотопные источники ионизирующих излучений: америций-241 с активностью 1–2 Ки для возбуждения Ag, Sb, Sn и кадмий-109 с активностью 5–10 м Ки для остальных вышеперечисленных элементов. Для регистрации излучения используют рентгенорадиометрические анали-

заторы РПС4-0,1 для применения и на обнажениях и при исследовании отдельных образцов [А.Н. Горбачев, 1982].

Для глубинных геохимических поисков руд благородных и цветных металлов целесообразно применять исследование почв на металлоорганические формы металлов [Л.В. Андропова, 1982 г.]. Специальные геохимические исследования показали, что накопление металлов в почвах происходит в виде гуматов и фульватов металлов. На рудоносных участках они создают аномалии. Фульваты и гуматы металлов извлекаются из почв пирофосфатом натрия – селективным растворителем. Для оценки количества органического вещества, перешедшего в пирофосфатную вытяжку, определяется углерод, составляющий 59% от общего количества гуматов и фульватов. Металлы оцениваются фотокалориметрическим, полярографическим, физико-спектральным, атомно-сорбционным методами анализа.

Опытными работами на полиметаллическом месторождении Рудного Алтая, перекрытого горизонтом глины в 100 м, были выявлены аномалии Fe/C, Pb/C, Cu/C, размеры которых превышают рудные зоны в несколько раз. На золоторудном месторождении, перекрытом лесом в 60 м, рудная зона выявлена в аномалии металлоорганических форм золота и элементов-спутников – Au/C, As/C, Cu/C (рис. 94) [Л.В. Андропова, 1982 г.].

Особое влияние на применение геохимических методов поисков оказывают антропогенные факторы. С жизнедеятельностью человека связано заражение окружающей среды многими химическими элементами. Это новое явление названо контаминацией. Иногда техногенные геохимические ореолы, связанные с контаминацией, можно определить сразу, когда геохимические данные не укладываются в природную геохимическую модель. В других случаях контаминацию можно принять за природную аномалию. Убедиться в обратном удастся только после затрат значительных усилий и средств.

Деятельность горнорудных предприятий нередко приводит к загрязнению окружающей среды отработанными породными отвалами, обломками и пылью руды и минерализованных пород, отходами обогатительной фабрики и металлургической переработки руд. Окисление сульфидов в отвалах приводит к появлению кислых вод, которые интенсивно выщелачивают рудные минералы, не полностью извлеченные при переработке руд. Эти металлоносные воды поступают в речную сеть, в подземные выработки в почвы и могут создавать потоки и ореолы рассеяния металлов. Они распространяются на большие расстояния от рудников и перерабатывающих горных предприятий. Рассеяние тонкоизмельченного вещества может происходить также в виде твердых частиц ветром. Возникающие техногенные геохимические ореолы обычно размещаются на глубинах 0,1–2 м, иногда более. Растения усваивают металлы, достигшие корневой системы, образуют техногенные биохимические аномалии. Все это затрудняет геохимические поиски, а в некоторых случаях делает их применение невозможным.

Применение удобрений, ядохимикатов сильно осложняет проведение геохимических поисков в аграрных районах, поскольку сельскохозяйственные территории оказываются повсеместно зараженными калием, медью, цинком, ураном, фосфором, фтором и др. С другой стороны, благодаря насыщению этими элементами поверхностных вод, может усиливаться растворение халькофильных элементов из пород, несущих их аномальные концентрации. Это нередко приводит к ослаблению природных геохимических аномалий. Загрязнение при строительных работах наиболее заметно в водах и донных осадках. Избежать влияния контаминации в та-

ких случаях можно путем экспериментального опробования вод, почв и донных осадков выше по течению реки, где ведется строительство.

Загрязнение территорий происходит отходами домашнего хозяйства. Такие элементы как Cu, P, Pb, B, F, Zn, Ni, Co, Hg, за счет домашних отходов обычно попадают в дренажную систему, а затем и в речные отложения. Они также улавливаются при экспериментальном опробовании почв, вод и донных осадков.

Следовательно при планировании геохимических поисков в местах старых разработок, развития промышленности, сельскохозяйственного производства следует выполнять предварительное опытное опробование для выявления загрязненных почвенных горизонтов, донных осадков, поверхностных и подземных вод. Иногда вероятность техногенного загрязнения территории можно установить через соотношения элементов – Zd/Cd , Pb/Ag , Co/Ni , K/Na и других, поскольку природные геохимические показатели отличаются от антропогенных данных.

Физико-химические методы

При прогнозировании и поисках рудных объектов физико-химические исследования сводятся к решению следующих задач: выявлению и анализу ореолов гидротермального пропаривания месторождений эндогенного типа на основе изучения декрепитационной активности горных пород (декрептофонический метод); определению термодинамических параметров рудообразующих растворов по флюидным включениям в минералах руд и окolorудных метасоматитов и анализу протекания гидротермальных процессов в рудоносной структуре. Такие исследования выполняются на стадиях крупномасштабных геологосъемочных, поисковых и оценочно-разведочных работ.

Термобарометрическими исследованиями установлено, что в окружающих рудные тела горных породах эндогенных месторождений, наряду с первичными геохимическими ореолами развиваются гидротермальные ореолы преобразования. Они представлены участками насыщения горных пород газожидкими первично-вторичными включениями, образованными при послемагматических процессах. Зоны гидротермального пропаривания представляют собой области проработки вмещающих пород рудообразующими растворами при формировании метасоматитов и руд. Объемы зон гидротермального пропаривания пород в десятки раз превышают объемы сформированных рудных тел. Например, на Тарданском золото-скарновом месторождении Тывы ширина ореолов окolorудного пропаривания скарновых тел превышает в 4–10 раз мощность рудных тел. Декрепитационная активность в них составила от 10 до 70 раз выше, чем фоновая в скарновых и гранитоидных, карбонатных вмещающих породах. Обычно ореолы гидротермального пропаривания рудовмещающих пород имеют зональное строение с максимумом декрепитационной активности над рудными телами – рудными столбами. На участках выклинка рудных тел декрепитационная активность пород (количество взрывов газожидких включений при перегреве до 450°C) резко снижается до фоновой (5–10 микровзрывов включений) (рис. 95, 96). Эти данные в совокупности с результатами литохимических исследований позволяют успешно использовать декрепитацию рудовмещающих пород для перспективной оценки структур на скрытое оруденение.

Термобарогеохимические исследования выполняются с использованием методов гомогенизации и декрепитации газожидких, расплавно-рассольных включений в минералах. Выявляются температуры магматических и послемагматических про-

цессов, а также состав минералообразующих растворов по результатам изучения состава флюидных включений. Наиболее информативными для поисковых целей оказываются данные о температурных условиях формирования продуктивных минеральных ассоциаций и изменении температурного режима рудообразования в пространстве. Они позволяют выработать модели формирования месторождений, на этой основе решать прикладные прогнозно-поисковые задачи.

Исследования включений в минералах показали, что многие типы рудных месторождений характеризуются стандартным температурным режимом рудообразования. Растворы продуктивных стадий минералоотложения характеризуются специфическим составом и температурами. Например, для медно-молибденовых порфировых месторождений характерны многофазовые включения с NaCl, максимальные концентрации которых (до 50–55%) свойственны оптимальным условиям образования промышленных скоплений Cu и Mo при температурах 440–340°C. Рудообразующие растворы свинцово-цинковых и золоторудных объектов насыщены двуокисью углерода до 83 об% во включениях в минералах продуктивных ассоциаций. Промышленные руды формировались в температурном диапазоне растворов 260–190°C и 320–180°C соответственно [Е.М. Лазько и др., 1981 г.]. Эти и другие данные позволяют судить о локализации продуктивных минеральных комплексов и могут использоваться при поисках и оценке промышленной рудоносности в различных регионах.

Важными параметрами промышленной значимости оруденения являются наличие в минералах включений растворов критической плотности, признаки стабильности–нестабильности термодинамического режима рудообразующей системы и др. Основные физико-химические параметры минералообразующих растворов, выявленные по флюидным включениям, закономерно эволюционируют во времени и пространстве и определяют региональную и локальную эндогенную зональность. Особое значение для прогнозирования представляют сведения о термобарогеохимической зональности. Она отражает собой закономерное развитие палеотемпературного и палеобарического полей и изменение состава растворов в объеме рудолокализирующей структуры. Все это позволяет выявлять тип и тренды зональности, связи оруденения с магматизмом, метасоматизмом и оконтуривать наиболее перспективные участки рудоносных структур, в том числе зоны вероятного размещения скрытых залежей руд (рис. 78).

Опыт прогнозирования и поисков эндогенных руд по термобарогеохимическим данным [Е.М. Лазько, Ю.В. Ляхов, А.В. Пизнор, А.Ф. Коробейников и др.] показал, что на стадиях крупномасштабных геологосъемочных и детальных поисковых работ этим методом могут успешно выделяться рудоперспективные участки разных рангов, рудолокализирующие и рудоподводящие структуры, связи оруденения с магматизмом и метасоматизмом. На стадиях поисковых и разведочных работ такие исследования позволяют решать прогнозно-оценочные задачи:

- 1) расширять комплекс оценочных признаков промышленного оруденения и уточнять вид и тип зональности в пределах рудоносных структур, месторождений, отдельных рудных тел;
- 2) разрабатывать палеотемпературные модели объектов с последующим анализом полей для прогнозных целей;
- 3) выполнять оценку глубины эрозионного среза рудоносных структур;
- 4) выявлять внутри – и послерудные деформации и направления смещений по дизъюнктивам;

5) рассчитывать вероятные границы распространения оруденения в объеме рудолокализирующих структур, особенно на глубоких горизонтах.

Для этого рекомендуется использовать данные по вертикальной термометрической зональности и по выявляемому вертикальному температурному градиенту. Специальные исследования зон гидротермального метасоматоза способствуют выявлению скрытых рудных залежей.

Геофизические методы поисков

Геофизические исследования находят широкое применение при прогнозировании и поисках «открытого» и «скрытого» оруденения. Их основу в условиях разных рудных районов и узлов составляет анализ результатов аэро- и наземных магнитометрических и гравиметрических съемок в масштабах 1:50000...1:25000, а при изучении рудных полей и месторождений в масштабах 1:10000...1:2000 – материалов наземных магнитометрических и электроразведочных (методы ВП, ЕП, ВЭЗ, электропрофилирования и др.) работ, иногда сейсморазведки и ядерно-физических исследований. Магнитометрические, гравиметрические, сейсморазведочные данные позволяют уточнить или расшифровать геологические структуры, обнаружить скрытые рудоносные тела, рудолокализирующие структуры и выявить внутреннее строение вмещающего геологического пространства в физических полях. Все это способствует прямому прогнозу рудоносных метасоматитов и крупных рудных залежей магнетитовых, сульфидных и иных месторождений. Зоны метасоматоза с сульфидной минерализацией и рудные залежи в щелочных метасоматитах хорошо картируются методами ЕП, ВП, радиометрическими исследованиями (гамма-съемка, радиоактивный картаж скважин и др.). Методика геофизических работ и их интерпретация излагаются в специальных курсах и поэтому здесь не рассматриваются.

Геофизические предпосылки прогнозирования и поисковые признаки отражают характер проявления физических полей, интенсивность и контрастность аномалий. Геологические объекты, создающие разноконтрастные геофизические аномалии, выходят на дневную поверхность или залегают на глубине. С увеличением глубины залегания верхней кромки рудных залежей интенсивность аномалий снижается, одновременно ослабевает их контрастность. Если аномалии и другие особенности наблюдаемых физических полей вызваны непосредственно поисковым объектом (рудным полем, месторождением, рудным телом), то такие геофизические аномалии надо рассматривать как прямые поисковые признаки (см. рис. 5–7, 20, 22, 29, 34, 37, 39, 43, 49, 50, 63–65).

Примерами являются геофизические поля разнообразных типов рудных месторождений, рудных полей, рудных узлов – колчеданных, медно-порфировых, сульфидных медно-никелевых, золоторудных и др. Наиболее интенсивные аномалии фиксируются над залежами магнетитовых скарных и кварцитовых руд; радиометрические – над телами радиоактивных руд; аномалии ЕП, ВП – над сульфидными и графитовыми телами. Если в геофизических полях отражается не поисковый объект, а вмещающая его структура (геологический разрез, рудоносный интрузив, зона метасоматоза) или сопутствующий геологический признак, то выявленные аномалии рассматриваются как косвенные поисковые признаки.

Поиски скрытого оруденения геофизическими методами проводятся нередко весьма эффективно. Но необходимо помнить, что при прогнозировании и поисках

слепых рудных тел и месторождений разных формационных типов, выявляемых в разных регионах, иногда обладают сходством геофизических полей, а иногда нет. Необходимо учитывать конкретные условия залегания и возможные параметры возмущающего тела – интрузив, структура, рудная залежь, а также глубину верхней и нижней его кромки, другие данные, способствующие пониманию геологической природы аномалий и оценке их перспектив.

Немаловажное значение при прогнозировании и поисках рудных объектов имеют исследования физических полей региональных и локальных геологических структур разного ранга. Геофизические методы дают уникальную информацию, раскрывая связи явлений глубинного магматизма, метасоматизма, диапиризма и рудообразования при исследовании глобальных, региональных и локальных участков земной коры – линейных, кольцевых, дугообразных, купольных структур, инъективных магмо-флюидных рудообразующих систем. Получаемые геофизические данные позволяют направлять поисковые работы на выявление новых рудных полей, рудных месторождений и рудных залежей в перспективных геологических структурах. При этом региональные геофизические исследования позволяют более уверенно распознавать разноглубинные рудообразующие системы, разрабатывать их формационные и генетические модели и на этой основе выполнять прогнозно-поисковые работы в наиболее перспективных участках земной коры.

Технические (горно-буровые) методы поисков

К техническим методам поисков относятся такие способы и приемы обнаружения полезных ископаемых, при которых горно-буровые работы приобретают самостоятельное или профилирующее значение. Горные и буровые работы используются на всех стадиях геологоразведочного процесса. Они обеспечивают опробование полезного ископаемого путем вскрытия рудных зон и рудных тел. К ним относятся, прежде всего, поверхностные горные выработки – расчистки, закопашки, шурфы и каналы. Их проходка обеспечивает создание искусственных обнажений коренных пород и руд при геологической съемке и поисках в районах с небольшой мощностью рыхлых отложений. Они же используются при изучении шлиховых и литохимических ореолов рассеяния рудных минералов и элементов, при заверке геофизических аномалий, а также для вскрытия рудных тел, их оконтуривания и опробования с целью оценки промышленных перспектив оруденения. С этими же целями в районах с большой мощностью наносов используются картировочные и структурно-поисковые скважины.

Самостоятельное значение горно-буровые работы приобретают при поисках на перспективных площадях, где геологические, геофизические и геохимические методы поисков оказываются неэффективными. Этому служат следующие примеры:

- 1) поиски керамических и слюдяных пегматитов, расположенных в кварц-полевошпатовых средах и перекрытых рыхлыми отложениями (перспективные зоны вскрываются системой магистральных каналов);
- 2) поиски россыпей в долинах рек и речек, металлоносность которых предполагается по геологическим предпосылкам или установлена шлиховым опробованием (поиски проводятся шурфами и скважинами по профилям поперек речных долин);
- 3) поиски различных, в том числе скрытых, месторождений путем разбуривания благоприятных на оруденение структур или геофизических, геохимических аномалий;

4) поиски месторождений полезных ископаемых в закрытых районах путем систематического разбуривания геологически благоприятных площадей и структур.

Обычно технические методы поисков применяют на стадиях поисковых и оценочных работ. Горные выработки в этих случаях располагаются по поисковым линиям. Глубина их зависит от толщины рыхлого покрова и от поисковых или оценочных задач. Расстояния между поисковыми линиями определяются установленной или предполагаемой протяженностью рудных залежей, а густота расположения выработок в профилях выбирается с учетом, чтобы не пропустить промышленно значимые рудные тела, то есть минимальными их размерами (по протяженности). Применение горно-буровых работ при поисках, оценочных работах ограничивается их высокой стоимостью и трудоемкостью. Однако иногда в высокогорных условиях при поисках приходится проходить штольни поискового назначения со скважинами подземного бурения. В этом случае рельеф местности не позволяет выполнять поиски только буровыми скважинами из-за сложности подготовки буровых площадок.

2.2.3. Подводные методы поисков

Моря и океаны – огромные вместилища различных полезных ископаемых: нефти и газа, руд золота, платины, олова, вольфрама, железа, марганца, хрома, никеля, кобальта, меди, фосфора, драгоценных камней. Они заключены в донных осадках и в коренных породах. В настоящее время основными объектами исследований являются осадки в пределах береговой зоны суши и мелководной зоны шельфа. Некоторые страны в значительной степени удовлетворяют свои потребности в том или ином минеральном и энергетическом сырье путем разработки и поисков подводных месторождений нефти и газа, россыпей золота, платины, ильменита, циркона, касситерита, титаномагнетита, алмазов, строительного песка и фосфорита [Добрецов, 1980 и др.].

Объекты исследований

Максимальные прогнозно-поисковые и разведочные работы разных полезных ископаемых проводятся в США, Канаде, Франции, Великобритании, ФРГ, России. Активное освоение подводных месторождений нефти и газа наблюдается в настоящее время в Южных и Арктических морях. Другие полезные ископаемые осваиваются в Мировом океане пока ограниченно, прежде всего, на шельфе. Из них основное внимание уделяется объектам нефти и газа, а также россыпям.

Россыпи шельфа. Границей шельфа считается линия дна до глубин 200 м. Общая площадь шельфа составляет 7,5% площади Мирового океана или 18% территории суши. В настоящее время около 30 стран мира осуществляет промышленную добычу полезных ископаемых из шельфовых зон [Добрецов, 1980].

При переносе и переотложении обломочного материала в прибрежно-морской обстановке наблюдается длительная повторяемость одних и тех же процессов примерно в постоянном режиме. Это приводит к совершенной дифференциации обломочного материала по крупности, форме, плотности частиц и определяет характер, скорость и массу транспортируемого материала. Поэтому здесь распространены пески, алевриты, глины, илы, а устойчивыми оказываются минералы самых верхних горизонтов земной коры.

Выделяются три группы минералов, отличающихся по условиям переноса, отложения и особенностям пространственного размещения [Добрецов, 1980]. К первой группе относятся тяжелые и устойчивые к выветриванию минералы низкой миграционной способности: золото, платина, касситерит, имеющие плотность выше 7 г/см^3 и сравнительно небольшую механическую стойкость. Прибрежно-морские россыпи этих минералов располагаются не далее 20–30 км от коренного источника. Вторую группу составляют механически устойчивые минералы с плотностью 4–7 г/см^3 : магнетит, титаномагнетит, ильменит, хромит, монацит, циркон, рутил. Они накапливаются в россыпях в десятках-сотнях километров от коренного источника. К третьей группе относятся особо механически устойчивые минералы с плотностью ниже 4 г/см^3 : алмаз, сапфир, рубин, хризопраз, шпинель, изумруд, топаз. Скопления этих минералов находятся на расстоянии многих сотен километров от коренного источника.

Пространственное положение прибрежно-морских россыпей определяется геологическими, геоморфологическими и гидродинамическими факторами. При изучении геологической обстановки важно установить источники сноса полезных минералов, степень их перспективности к употреблению. Выявляются особенности неотектонических движений, климатические условия и т.п. Геоморфологические особенности региона во многом определяют морфологию прибрежных россыпей и их строение. Поэтому рекомендуется выяснять геоморфологические особенности прилегающей к акватории суши и прибрежной зоны, а также характер подводных форм рельефа.

Наибольшее значение в формировании, размещении и динамике прибрежно-морских россыпей имеют гидродинамические условия – особенности и режим морских течений, характер и степень морских волнений и т.п. Формирующиеся постоянно морские россыпи располагаются на современных пляжах, подводном береговом склоне, на морских террасах.

Подводные месторождения железомарганцевых конкреций вулканических сульфидных труб, холмов (черные и белые «курильщики») располагаются на плоских вершинах срединно-океанических хребтов-рифтов, впадин океанов. Так называемые «черные и белые курильщики» представляют собой трубы и холмы подводной гидротермальной деятельности. Первые слагаются минералами сульфидов, оксидов, гидросиликатов, карбонатов, а вторые – сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов. В этих структурах выявлены скопления железомарганцевых (с Au, Pt, Ni, Co, Mo, W, Bi, Ga, Zn, Re и других элементов) конкреций, сульфидных илов и вулканических гидротермальных построек типа «черных и белых курильщиков». Такие минеральные образования начинают интенсивно изучаться с целью их дальнейшего хозяйственного использования.

Методика морских прогнозно-поисковых исследований

Геологоразведочные работы в прибрежных зонах морей и океанов также проводятся с соблюдением стадийности, которая позволяет постепенно отбраковывать отдельные площади шельфа и последовательно сгущать сеть наблюдений на перспективных участках. Для проведения поисково-разведочных работ, особенно в бассейнах с мощным чехлом рыхлых отложений, производственно-техническая база подготовлена еще слабо. Геологическая съемка разных масштабов в морских усло-

виях проводится институтами ВНИИ Океанологии и другими в соответствии с внутриведомственными методическими разработками и инструкциями. Большое внимание при исследованиях уделяется вопросам морской экологии.

Особенности геологических исследований шельфовых зон сводятся к следующим положениям:

- 1) весь комплекс работ ведется с водной поверхности и частично со льда, что существенно осложняет их под влиянием погодных условий;
- 2) сравнительно сложная геологическая обстановка, обусловленная малыми объемами продуктивных отложений среди полей морских отложений. Это затрудняет расшифровку выявляемых физических полей;
- 3) значительная протяженность отдельных рудных объектов;
- 4) преимущественное использование специализированных морских судов, плавучих и подводных установок;
- 5) необходимость сочетания сухопутных и морских методов геологоразведочных работ.

Разработка методики прогнозно-поисковых работ на шельфе производится в следующих направлениях:

1. Аэрокосмическое и наземное обоснование методики прогнозно-поисковых и разведочных работ.

2. Создание методов непрерывного сейсмоакустического профилирования для различных стадий геологоразведочных работ и комплексирования геофизических методов в сочетании с опробованием верхних слоев рыхлых отложений легкими техническими средствами.

3. Разработка методики гидрологического обеспечения и изучения гидродинамических характеристик морских россыпей.

4. Создание методики геолого-экономической оценки работ на разных стадиях исследований и экономической оценки месторождений.

Основной задачей геологического обоснования методики проведения геологоразведочных работ на шельфе является определение прогнозно-поисковых критериев, признаков конкретных типов месторождений полезных ископаемых и создание принципов построения палеореконструкций шельфовых зон. Продолжается изучение возможности применения традиционных геологических методов прогноза и поисков россыпей, которые в морских условиях невозможны без специальных технических средств и совмещения с методами гидродинамического анализа процессов разноса, накопления и дифференциации материала в мелководной зоне моря под воздействием различных природных факторов. В числе традиционных методов следует использовать аэрокосмофотосъемку, шлиховое опробование и геохимические исследования.

Поиски в морских условиях выполняют следующим образом: с надводных судов, с подводных конструкций и аппаратов, аквалангистами и водолазами. Из них наиболее эффективными и распространенными оказываются поисковые работы с надводных судов. Кратко рассмотрим применяемые методы поисков в шельфовых зонах.

Методика непрерывного сейсмоакустического профилирования (САП) предусматривает комплексирование различных геофизических методов исследований в сочетании с опробованием легкими техническими средствами. Метод применяется для изучения и расчленения рыхлых отложений морских бассейнов. Основ-

ными задачами дальнейших исследований по проблемам разработки метода является повышение эффективности САП путем применения различных способов борьбы с помехами и необходимых приемов выполнения профилирования на специализированном судне. Разрабатываются методологические основы интерпретации геофизических данных применительно к морским условиям.

Гидрологическое обеспечение поисков и изучение гидродинамических характеристик морских россыпей решается метеослужбой совместно с геологическими подразделениями. Одновременно получают необходимые данные для расшифровки гидродинамических процессов морского россыпеобразования в конкретной геологической обстановке. Из подводных методов поисков активно используют гидролокацию бокового обзора и фотосъемку морского дна.

Методика геолого-экономической оценки геологоразведочных работ на разных стадиях прогнозно-поисковой экономической оценки выявляемых россыпных месторождений находится еще в начальной стадии разработки. Опыта таких исследований пока мало. Рекомендуется учитывать, прежде всего, влияние морской среды для оптимизации геологоразведочных работ с учетом их стадийности. При создании методики геолого-экономической оценки морских россыпей исходят из цикла исследований по методам валового и технологического опробования. Очередной задачей при этом является разработка рекомендаций по подсчету ресурсов полезных ископаемых категорий P_2 и P_1 и запасов категорий C_2 .

Техническое обеспечение опробования подводных месторождений. Для опробования подводных месторождений полезных ископаемых используются станки ударно-забивного, ударно-вращательного, гидромеханического, вибрационного действия, а также унифицированные плавучие буровые установки (на судах). При изучении механических ореолов рассеяния минералов широко применяются морские пробоотборники или грунтовые трубки диаметром 100–200 мм с глубинами внедрения 6–12 м. Используются пробоотборные трубки ударного, забивного, стреляющего, поршневого, насосного, гидростатического, реактивного и вибрационного типов. Для опробования используются буровые гидравлические снаряды с диаметром труб 200–300 мм и глубиной внедрения 6–8 м, а также драги и дночерпатели различного типа. Пробы отбираются из поверхностного слоя донных отложений с нарушением текстуры и структуры осадков. В этом состоит недостаток этого метода опробования. Для картировочного и поискового бурения и опробования всей толщи рыхлых отложений в 8–30 м применяются унифицированные плавучие буровые установки с диаметром труб 127–250 мм. Они устанавливаются на буксируемых понтонах катамаранского типа грузоподъемностью 100–300 тн.

Опережающие работы включают предварительное дешифрирование материалов аэрокосмических фотосъемок, радиолокационных, инфракрасных и телевизионных снимков. Это позволяет составить предполевые геологические карты, установить участки с обнажениями дочетвертичных пород и площади распространения рыхлых отложений.

Аэромагнитная и гидромагнитная съемки регистрируют магнитные свойства геологических тел, позволяют выявлять их форму и глубину залегания. Морская электроразведка, подводная радиометрическая съемка и магнитометрические работы дают возможность получить информацию о геологическом строении участков дна, для которых отсутствуют изображения на материалах аэрокосмофотосъемок. Кроме того, эти исследования позволяют отбивать границы между геологическими

телями и определять площади их распространения, а также намечать участки для буровых, водолазных и других детальных методов исследований морского дна.

На этапе подготовки перспективной площади для исследований производится гидрографо-геодезическое обеспечение работ, выставляются створные знаки и якорные буи. Привязка пунктов наблюдений осуществляется приборами GPS-приемниками и другими навигационными приборами через искусственные спутники Земли.

2.2.4. Комплексирование поисковых методов

Факторы определения рационального комплекса поисковых методов

Успех поисков месторождений полезных ископаемых определяется выбором рационального для изучаемой территории комплекса методов исследований. Рациональное комплексирование методов поисковых работ должно предусматривать такую совокупность методов, которая обеспечит решение задачи по выявлению всего разнообразия полезных ископаемых района с максимальной геологической и экономической эффективностью. На возможности поисковых методов и эффективность их применения в тех или иных регионах влияют следующие факторы:

- 1) геолого-промышленный тип ожидаемых месторождений и особенности геологической обстановки площади опосредования;
- 2) ландшафтные и биоклиматические условия поисков;
- 3) мощность рыхлых отложений и условия размещения скрытых месторождений;
- 4) стадия проводимых исследований в регионе.

Выбор рациональных методов поисков месторождений любого типа зависит от геологических условий локализации объекта, морфологии и вещественного состава рудных тел, физической и химической устойчивости руд, различий в физических свойствах руд и вмещающих пород (магнитная восприимчивость, радиоактивность, плотность и др.). Все это определяет способность месторождений формировать механические и солевые вторичные ореолы рассеяния рудного вещества и возможности применения тех или иных геофизических, геохимических методов поисков. Опыт комплексирования поисковых методов для различных типов рудных месторождений отражен в таблице 9.

Анализ таблицы позволяет первоначально наметить круг поисковых методов, позволяющих решить в конкретном районе поставленную поисковую задачу. Из перечисленных методов универсальными для всех типов месторождений являются визуальный метод геологической съемки и геохимические, геофизические поиски. Значение этих методов резко возрастает для хорошо обнаженных и слабо изученных районов. Немногоим уступают им по эффективности аэрокосмогеологические, магнитометрические, электроразведочные, технические методы поисков. Более ограничена применимость шлихового, радиометрического, гравиметрического, атмосферического, физико-химического, термобарометрического методов. Но они могут определять эффективность рациональных комплексов методов поисков для определенных типов месторождений и определенных геологических обстановок. Поэтому визуальный метод геологической съемки и геохимические методы по существу являются обязательными при поисках всех типов месторождений и должны входить в любой рациональный комплекс методов. Дополнительно могут включаться в такой комплекс аэрогеологические, шлиховой или другие поисковые методы.

Комплексы поисковых методов для различных рудных месторождений

Полезное ископаемое (типы месторождений)	Методы поисков															
	Визуальный	Обломочно-речной	Валуно-ледниковый	Аэрогеологический	Шлиховой	Литохимический	Гидрохимический	Биохимический	Атмохимический	Физико-химический	Магнитометрический	Радиометрический	Электроразведочный	Гравиметрический	Сейсморазведочный	Технический
Железо	++	++	+	+		+	+				++		+	++	+	+
Марганец	++	+		+		+	+	+			+		+			+
Титан	++	+	+	+	++	+	+				++	+	+	+		+
Хром	++	+	+		++	+	+	+			++			++		
Медь	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+		++	+		+
Свинец, цинк	++	+	+	+		++	+	+	+	+		+	++	+		+
Алюминий	++	+	+	+			+				+	+	+		+	++
Никель, кобальт (сульфидные руды)	++	+	+	+		+	+	+	+		+		+	+		+
Никель, кобальт (силикатные руды)	++	+	+	+		+	+	+			+					
Ванадий	++	+	+			+	+	+				+				
Олово	++	+	+	+	++	+	+				+	+	+			+
Вольфрам	++	+	+	+	++	++	+				+		+			+
Молибден	++	+	+			++	+	+		+	+	+	+			
Сурьма	++	+	+			+	+	+	+				+			
Ртуть	++	+	+		++	++	+	+	+				+			+
Литий, ниобий	++	+	+	+	++	++	+	+					+			
Золото	++	+	+	+	++	++	+	+				++	+			+
Платина	++	+	+	+	++	+	+	+	+		+	+	+			++
Уран	+				+	+					+		+	+		++

Примечание: ++ - ведущие поисковые методы; + - вспомогательные поисковые методы

На выбор рационального поискового комплекса влияют прежде всего геолого-промышленные типы месторождений. Например, при поисках метаморфогенных, скарновых магнетитовых, магматических титаномагнетитовых месторождений широко используются воздушная и наземная магнитометрия, иногда в сочетании с гравиметрией, поскольку руды обладают высокой магнитной восприимчивостью. В условиях хорошей обнаженности района могут привлекаться методы, основанные на изучении механических ореолов рассеяния рудного вещества. Поиски осадочных лимонит-лептохлорит-гематитовых руд осуществляются преимущественно методом геологической съемки, а при наличии марганца успешно может применяться и литогеохимия. В закрытых районах для поисков месторождений железа используют сейсморазведку и электрометоды. Остаточные месторождения железа и железоникелевых силикатных руд, связанных с корами выветривания ультрабазитов, обнаруживаются методами геологической съемки в сочетании с магнитометрией.

На выбор рационального комплекса поисковых методов оказывают влияние и геологические обстановки изучаемых площадей. В.И. Красников [1965] проанализировал

зировав рациональные поисковые комплексы для восьми типовых геологических обстановок со свойственным набором рудных месторождений. Им выделены такие рудоперспективные регионы:

- 1) районы развития базитов, ультрабазитов с месторождениями железа, титана, хрома, кобальта, никеля, платины;
- 2) районы развития щелочных пород с месторождениями железа, алюминия, редких земель, тантала, ниобия, циркония, тория;
- 3) районы развития умеренно кислых интрузий с месторождениями железа, марганца, меди, свинца, кобальта, вольфрама, молибдена, сурьмы, ртути, лития, тантала, золота, урана;
- 4) районы развития кислых и ультракислых интрузий с месторождениями меди, олова, вольфрама, молибдена, бериллия, лития, тантала, ниобия, урана, золота;
- 5) районы широкого развития эффузивных комплексов с месторождениями меди, свинца, цинка, золота, урана;
- 6) районы, сложенные геосинклинальными осадочными комплексами с месторождениями железа, марганца, титана, меди, свинца, цинка, алюминия, ванадия, циркония и др.;
- 7) районы, представленные платформенными отложениями с месторождениями железа, титана, алюминия;
- 8) районы, сложенные древними метаморфическими комплексами с месторождениями железа, марганца, золота, урана и др.

Анализ поисковых рациональных поисковых комплексов в данных геологических обстановках выявил их сходство по большинству использованных методов. Различия состоят из применяемых геофизических методов поисков – в одних случаях гравиметрия, сейсморазведка или магнитометрия, радиометрия. В сложных регионах, где сочетаются неодинаковые геологические обстановки, рациональные комплексы поисковых методов оказываются более унифицированными.

На выбор эффективных методов поисковых работ существенное влияние оказывают ландшафтные и биоклиматические условия поисков.

В высокогорных районах с резким и глубоким расчленением рельефа, хорошей обнаженностью пород, разветвленной и проработанной гидросетью и широким распространением механических ореолов рассеяния рудного вещества, наиболее эффективен для поисков метод геологической съемки с аэрокосмическими методами, а также обломочно-речной, валунно-ледниковый, шлиховой, гидрохимический методы и поиски по донным осадкам. Но главным методом в таких условиях будет все же геологическая съемка.

Среднегорные районы отличаются сглаженными формами рельефа, менее обнаженными породными комплексами, в значительной степени покрытыми растительностью. Для них типичны механические, литохимические, гидрохимические, биохимические ореолы и потоки рассеяния рудного материала. В таких благоприятных условиях применимы любые методы поисков. Существенные ограничения вносит лишь климатическая зональность, определяющая специфику рационального набора методов поисков в северных и южных районах.

В условиях мелкосопочника в связи с плохой обнаженностью поиски методом геологической съемки требуют значительного объема горно-буровых работ. Эффективность поисков руд повышается за счет использования материалов дистанционных съемок, обломочно-речного, шлихового и комплекса геофизических, геохими-

ческих методов.

В обстановке плоскогорий и плато основное внимание при поисках уделяется долинам рек и их склонам. Здесь рациональным комплексом работ считается геологическая съемка в сочетании с обломочно-речным и шлиховым методами. Водораздельные пространства изучаются путем дешифрирования аэрофото- и космоснимков и аэрогеофизическими исследованиями. Обширные аллювиальные равнины требуют применения геофизических методов в сочетании с геохимическими. Геологическая съемка сопровождается значительными объемами буровых работ.

Состав рационального комплекса поисковых методов зависит от мощности рыхлых отложений и условий залегания ожидаемых скрытых месторождений. В закрытых районах при поисках глубокозалегающего скрытого оруденения заметно повышается роль глубинных геофизических и геохимических методов исследований.

При глубинном геологическом картировании (ГГК) на опережающем этапе работ важнейшее значение приобретает комплексный анализ физических полей, материалов аэрокосмических съемок и их геологическая интерпретация. Широко используются результаты наземных литохимических, биохимических, гидрохимических, атмосферических съемок и изучение наложенных ореолов в почве и подпочвенном слое. Составленные на этом материале предварительные геологические и прогнозные карты позволяют корректировать ранее составленные модели рудных объектов и служат надежной базой для выполнения основного этапа ГГК. При мощности покровных отложений в первые десятки метров на основном этапе ГГК наиболее эффективными оказываются наземные геофизические, геохимические методы в комплексе с картировочным бурением. При мощности насосов до 150 м резко снижается разрешающая способность электропрофилирования, но сохраняется надежность наземных геохимических исследований. При мощности покровных отложений 150–300 м падает эффективность метода ВП и наземных геохимических работ. В условиях покрова рыхлых отложений свыше 300 м в комплекс геофизических методов, кроме гравиметрии и магнитометрии, вводится сейсморазведка. Геохимическая информация ограничивается результатами гидрохимического и литохимического опробования вод и керн скважин. По мере возрастания глубины залегания изучаемых горизонтов пород и упрощения комплекса исследований снижается результативность поисков.

Поиски скрытого оруденения выполняются комплексом геологических, геохимических, физико-химических, геофизических методов изучения рудоносных структур. Прогнозирование и поиски в таких условиях предусматривают отбор и анализ таких геологических предпосылок и признаков, которые свойственны типовым моделям ожидаемых рудных полей и месторождений. Широко используется объемное картирование рудоносных структур. В анализ вовлекаются геологические, физико-химические, геохимические и геофизические данные. Особое внимание уделяется анализу морфоструктурной, рудно-метасоматической и геохимической зональности системы. Выявляются минеральные и геохимические комплексы, свойственные различным уровням рудообразующей системы, а также минералы и элементы-индикаторы скрытого промышленного оруденения. Из геохимических данных, наряду с результатами наземных съемок, используют материалы по глубинному литохимическому опробованию пород и руд. Проводятся специальные геохимические и физико-химические исследования методами частичного извлечения метал-

лов (ЧИМ), термобарогеохимии флюидных включений в минералах, изотопии и др. Весьма эффективно для целей прогноза и поисков глубокозалегающих руд проводится изучение ореолов рассеяния паров ртути в почвенной атмосфере. Термобарогеохимические исследования направлены в основном на выявление и анализ ореолов гидротермального пропаривания пород в объеме рудных зон и месторождений. Изучается декрепитационная активность рудовмещающих пород (декрептофонический метод) и определяются параметры рудообразующих растворов по флюидным включениям руд и околорудных метасоматитов (метод термобарогеохимии). Основными геофизическими данными служат результаты аэро- и наземных магнитометрических, гравиметрических съемок масштабов 1:50000...1:25000; детальной наземной магнитометрии и электроразведки методами ВП, ЕП, ВЭЗ, электропрофилеирования. Иногда используются сейсмометрические и ядерно-физические исследования.

Основным фактором в выборе рационального комплекса поисковых методов является стадийность геологоразведочного процесса. При проведении мелкомасштабных съемок 1:1000000...1:500000, рациональный комплекс поисковых работ включает визуальные наблюдения, методы геологического картирования, дешифрирование аэрокосмофотоматериалов, аэрогеофизические съемки. Из специальных геологических методов используются обломочно-речной, валунно-ледниковый и профильные литохимические исследования.

При крупномасштабных детальных исследованиях применяют наземные поисковые методы, включающие геологические, геофизические, геохимические и технические. В анализ вовлекаются материалы опережающих аэрогеологических, аэрокосмических и геофизических съемок. Выполняются наземные гравиметрические, магнитометрические, радиометрические работы. Рациональные комплексы методов крупномасштабных и детальных поисков разнообразны. Они разрабатываются для конкретных регионов с учетом тех же факторов – типа ожидаемых месторождений, геологической обстановки, ландшафтно-климатических условий конкретных районов, мощности и характера рыхлых отложений.

2.3. Модели объектов как основа комплексирования рациональных методов поисков

Под геологической моделью рудного объекта понимается оптимально упорядоченная совокупность имеющихся о нём сведений, способствующих решению прогнозно-поисковой задачи. Моделирование предполагает процедуры абстрагирования и идеализации. В геологии предметом моделирования являются сложные природные системы, поведение которых зависит от многих взаимосвязанных факторов различной природы. Моделирование глубоко проникает в теоретическое мышление и практическую деятельность. Это не только одно из средств отображения реальных процессов и явлений, но и критерий проверки научных знаний путем сравнения предложенной модели с другой моделью или теорией, более обоснованной и адекватной. По характеру моделей выделяют знаковое и предметное моделирование. При знаковом моделировании создаются модельные схемы, чертежи, формулы, например, математическое моделирование структуры объекта или его поведения. Предметное моделирование проводится на модели геологического объекта, воспроизводящее геометрические, физические, динамические и иные характеристики объ-

екта-оригинала – рудного района, рудного узла, рудного поля, месторождения, рудного тела [Моделирование..., 2008].

В геологии и в геологоразведочной практике активно развивается геологическое, физико-геологическое, геохимическое, физико-химическое, структурное, геолого-математическое моделирование рудоносных площадей и месторождений различных полезных ископаемых. Необходимость моделирования рудоносных площадей и месторождений определяется задачами создания обобщенных образов природных объектов для прогноза, поисков и разведки с целью повышения эффективности геологоразведочных работ на всех стадиях геологоразведочного процесса. В последние десятилетия работы по моделированию геологических объектов получили широкое развитие не только в России, но и за рубежом. Они направлены на создание геологических (формационных, геологоструктурных, минералогических), геофизических (физико-геологических) и геолого-математических (статистических) моделей основных формационных и геолого-промышленных типов месторождений для целей их прогноза, поисков и разведки. Такие модели стали основой разрабатываемых прогнозно-поисковых комплексов.

Разработка моделей рудных полей и месторождений имеет цель создания их обобщенных образов как непротиворечивого сочетания характеристик. При геологическом моделировании требуется соблюдать условия аналогии или подобия, представительности и возможности экстраполяции. Модели должны отвечать требованиям целевой направленности и возможности практических предсказаний. Процедура моделирования включает построение самой геологической модели, ее использование и экстраполяцию полученной новой информации на конкретные объекты.

Принципы моделирования природных объектов сводятся к следующим основным положениям [Каждан, 1984]:

- моделирование строения, состава или отдельных свойств геологических объектов должно проводиться путем системного подхода к оценке особенностей строения и свойств. На каждом из выявленных уровней объект должен выделяться как система, состоящая из совокупности множества структурных единиц, которые при данном масштабе моделирования могут считаться элементами неоднородности системы;

- суждения о структуре и изменчивости параметров изучаемого объекта в промежутках между пунктами наблюдений возможны лишь по принципу аналогии с использованием результатов по участкам детализационных работ;

- ограниченность экспериментальных данных и прерывистость сети наблюдений приводят к необходимости создания обобщенных геологических моделей, способствующих выявлению закономерных составляющих пространственной изменчивости изучаемых признаков;

- выбор наиболее приемлемой модели определяется условиями соответствия ее свойств свойствам объекта моделирования. Модель геологического объекта должна отражать достигнутую степень его изученности. Модели свойств геологических объектов должны разрабатываться на основе типовых геологических моделей.

Особенностями моделирования рудоносных участков и свойств полезных ископаемых в недрах является то, что моделируются не истинные геологические структуры и свойства полезных ископаемых, а представления о них, полученные при заданной детальности геологоразведочных работ. Необходимость моделирования природных объектов диктуется тем, что при изучении сложных природных си-

стем приходится учитывать многие факторы различной физико-химической природы, участвующих одновременно в формировании рудных полей и месторождений. Поэтому понятие закона заменяется в геологии более широким и менее строгим понятием модели. При этом даже самая совершенная модель позволяет судить не обо всех, а лишь о некоторых свойствах геологической системы.

Каждая стадия геологоразведочных работ обеспечивает получение собственного комплекса геологических, геофизических, минералогических, геохимических характеристик. Целью разработки моделей рудных объектов является создание их обобщенных образов как непротиворечивого сочетания характеристик, доступных для выявления имеющимися средствами и методами. По способу представления информации модели подразделяются на графические, табличные, текстовые и комбинированные. Они могут содержать качественные и количественные характеристики геологических объектов (табл. 10).

Таблица 10

Типовые модели рудных полей и месторождений полезных ископаемых для прогноза, поисков и разведки

<p>Этап I. Работы общегеологического назначения. Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр. Ресурсы категории P_3</p>	<p>Этап II. Поиски и оценка месторождений. Стадия 2. Поисковые работы. Ресурсы категорий P_2 и P_1. Стадия 3. Оценка месторождений. Ресурсы категории P_1, запасы C_2</p>	<p>Этап III. Разведка и освоение месторождений. Стадия 4. Разведка месторождений. Запасы категорий B, C_1, C_2. Стадия 5. Эксплуатационная разведка. Запасы категорий A, B и C_1</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Геолого-генетические модели 2. Рудно-формационные модели 3. Регионально-геофизические модели 4. Регионально-геохимические модели 5. Модели геологических факторов размещения оруденения 6. Модели мантийно-коровых рудообразующих систем и процессов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прогнозно-поисковые модели 2. Геологоструктурные модели 3. Геофизические модели рудных полей и месторождений 4. Геохимические модели рудных полей и месторождений 5. Петрофизические модели 6. Термобарометрические модели 7. Физико-химические модели 8. Статистические модели 9. Качественные геолого-промышленные модели 10. Изотопно-геохимические модели 11. Комплексные модели 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Геолого-промышленные модели 2. Модели рудно-метасоматической и геохимической зональности 3. Параметрические модели 4. Морфометрические модели 5. Концентрационные модели 6. Градиентно-векторные модели 7. Многофакторные модели 8. Мультиструктурные модели 9. Геолого-математические модели 10. Имитационное моделирование 11. Комплексные модели

Каждая стадия геологоразведочных работ обеспечивает получение собственного комплекса геологических, геофизических, геохимических характеристик того или иного геологического объекта. В соответствии с полученными данными и составляются те или иные геологические модели (см. табл. 10).

Особенности разработки геологических моделей заключаются в следующем. При разработке геологоструктурных и иных моделей после анализа критериев, признаков оруденения и условий картирования их в районе работ, а также степени представительности эталонных объектов следует определить перечень конкретных задач, которые должны решаться с помощью разрабатываемых моделей. Затем определяется набор элементов структур, их признаков, типы связей, которые должны отражаться в моделях, способ представления моделей и их объединение в систему. Конечный вариант модели должен обеспечить решение задачи при минимуме элементов, их признаков, связей и по возможности должен быть наглядным. Перегруженность модели второстепенными деталями не улучшает качество модели.

При крупномасштабных и детальном исследовании рудных полей и месторождений с помощью геологических моделей производится оценка уровня эрозионного среза территории. Осуществляется объемное геолого-геофизическое, геохимическое изучение конкретных рудоносных участков, их структурных элементов, контролирующих оруденение с оценкой прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 . Для этого модели должны отражать особенности глубинного и приповерхностного строения рудных объектов, их геохимическую зональность или тенденции изменения состава и физических свойств рудоконтролирующих геологических тел с глубиной.

Главными приемами моделирования служат изучение эталонных рудных объектов, имеющих различный уровень эрозионного среза, объемное геолого-геофизическое, геохимическое моделирование этих эталонных объектов. Результаты исследования конкретных рудных объектов увязываются в единую обобщающую модель. Ошибки в процессе моделирования возникают при неучёте различий объектов одной рудной формации, проявленных в разных тектонических блоках одной минерагенической зоны, рудного поля. Такие модели должны отражать связь рудных полей и месторождений с разными структурами, с зонами площадных гидротермально-метасоматических пород, приразломного диафтореза, контактового метасоматоза, особенности создаваемых ими геофизических и геохимических полей. Для таких рудных полей, месторождений, рудных тел характерна пространственная связь с интрузиями, метаморфитами и метасоматитами. Важными диагностическими признаками служат наличие гравитационного минимума, гравитационных ступеней, зон разуплотненных глубинных и приповерхностных блоков пород, метаморфической–метасоматической зональности. По результатам количественной интерпретации данных гравимагнитных аномалий можно предполагать на глубине гранитоидный плутон или метаморфический–метасоматический купол с золото-кварц-сульфидной, золото-серебряной, касситерит-силикатно-сульфидной рудными формациями. Могут фиксироваться и другие рудоносные тела и структуры.

При разработке моделей следует анализировать характер устойчивых связей рудных полей и месторождений с выходами фундамента или скрытыми плутонами, гранито-гнейсовыми куполами, зонами тектоно-магматической активизации, с метаморфической и метасоматической зональностью, с пликративно-разрывными структурами, зонами трещиноватости, а также особенности геофизических и геохимических полей. Должны выделяться главные и второстепенные рудоконтролирующие элементы-контакты интрузивов, элементы расчлененных плутонов, рудоносных стратиграфических уровней, вулканогенно-осадочных, метаморфических, метасоматических комплексов, пликративно-дизъюнктивных структур.

В поисково-разведочной практике чаще используются модели графического, объемно-макетного и геолого-математического моделирования. Применяется также имитационное моделирование.

2.3.1. Графические модели

Графические модели включают геологические планы, карты, разрезы, проекции, блок-диаграммы, графики, и другие графические документы. Создание графических моделей – это общепринятый метод познания геологической обстановки, условий залегания полезных ископаемых, их форм и внутреннего строения. Однако графические модели обеспечивают лишь качественную оценку условий залегания, формы и строения природных скоплений полезных ископаемых и вмещающих пород. Они создают упрощенные представления о характере их пространственной изменчивости. Степень упрощения и обобщения графических моделей зависит от детальности изучения и масштабов изображения объектов. На ранних стадиях минералогических исследований графическими моделями являются геологические, структурно-тектонические, формационные, литологические, прогнозно-минералогические и другие карты. Масштабы их определяются целями и задачами геологоразведочных работ разных стадий. Эти карты сопровождаются разрезами тех же масштабов. На более поздних стадиях работ составляются геологические и специализированные карты и планы рудоносных участков, проекции на вертикальную (падение тел более 45°) и горизонтальную (падение тел менее 45°) плоскость, поперечные и продольные разрезы к ним. Они обеспечивают объемное представление о строении изучаемых рудных объектов. При этом планы и разрезы чаще строятся в одном масштабе, но иногда вертикальные масштабы намеренно укрупняются. Проекции рудных зон, месторождений, рудных тел на вертикальные и горизонтальные плоскости представляют собой графические модели, на которых отражается пространственное размещение блоков пород и руд. Пологопадающие залежи и зоны проектируются на горизонтальные плоскости, а крутопадающие ($> 45^\circ$) – на вертикальные. Разновидностью графических моделей являются блок-диаграммы. Они обеспечивают наглядные пространственные представления о геологическом строении рудных полей, рудных зон, месторождений, рудных тел. Объемно-макетные модели представляют собой уменьшенные скульптурные, рельефные, скелетные или прозрачные копии рудных полей, месторождений и рудных тел. Они позволяют визуально наблюдать закономерные изменения свойств объекта в пространстве. Приемы и методы составления графических моделей изучаются в учебных курсах горно-геологической графики, структурной геологии и геокартирования.

При геометрическом моделировании свойства геологических объектов рассматриваются как поля геологических, геофизических, геохимических пространственных переменных, для которых известны не только значения изучаемых свойств, но и их пространственные координаты. Методы геометрического моделирования способствуют выделению и количественному описанию тенденций, наблюдаемых изменений свойств изучаемых объектов, их геометризации в конкретных геологических структурах. Метод горно-геологического моделирования был предложен П.К.Соболевским. В основе его модели лежит представление о функциональных связях наблюдаемых свойств с пространственными координатами. Им сформулированы принципы и методы геометрического моделирования тел полезных ископаемых.

Геометрическое моделирование числовых значений любого свойства объекта производится графическим путем с помощью изолиний. На планах и разрезах изолинии образуют топографические поверхности. Они рассматриваются как графические выражения функций типа $Z=F(x,y)$. П.К. Соболевским разработан оригинальный математический аппарат, с помощью которого можно производить с топофункциями любые арифметические и алгебраические действия. Для случаев сильной природной изменчивости свойств, когда наблюдаемые значения геологоразведочных параметров не удовлетворяют условиям непрерывности и плавности, они подвергаются операции «сглаживания». Облик скользящей средней зависит от числа наблюдений (проб) в скользящем окне, от числа последовательных сглаживаний и от характера перераспределения весов проб в скользящем окне. Средние значения геологоразведочных параметров относятся при сглаживании не к реальным физическим объемам (объемам проб или зонам их влияния), а к произвольным объемам недр, зависящим от размеров выбранного скользящего окна. Все это лишает горно-геологическую модель объективности и математической строгости. Но благодаря их наглядности можно выражать основные особенности пространственной изменчивости свойств геологических образований, а также устанавливать примерные значения изучаемого свойства в любой точке исследуемого объекта, получать представление о его морфологии и внутреннем строении (рис. 102).

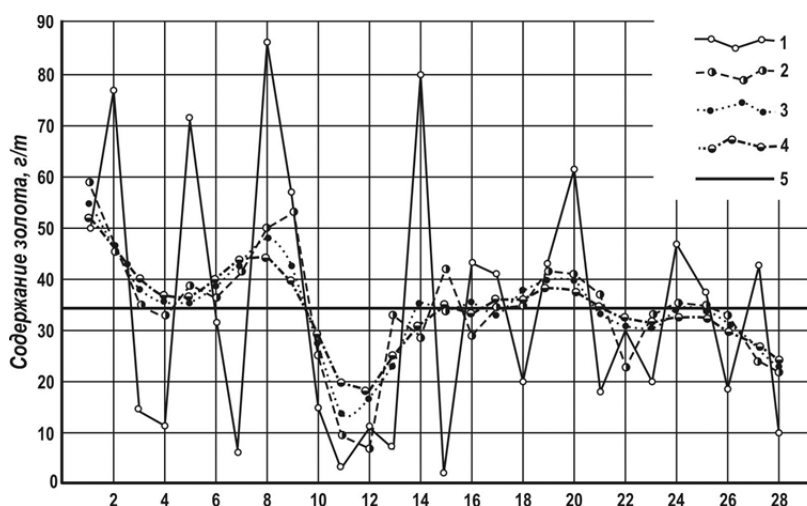


Рис. 102. Построение кривой регрессии методом сглаживания (по П.Л. Калистову).

1 – кривая содержания золота в пробах по результатам анализа; 2 – кривая содержания золота в породах после первого приема сглаживания; 3 – кривая содержания золота в пробах после второго приема сглаживания; 4 – кривая содержания золота в пробах после третьего приема сглаживания; 5 – уровень среднего содержания золота в пробах

2.3.2. Геологоструктурные модели

Геологоструктурные модели используются при выборе оптимальной схемы прогнозно-поисковых и разведочных работ в период проектирования. Они составляются на основе обобщения фондовых и литературных данных по хорошо изученным эталонным объектам – рудным полям и месторождениям.

При выделении минерагенических провинций, поясов, рудных районов, рудных узлов преобладают структурные признаки, а при моделировании рудных полей и месторождений основную роль играют породы, их породные минералы, минеральные парагенезисы. Поэтому для типизации структурно-вещественных комплексов, структурно-формационных зон существенны и структурные и вещественные признаки. При структурно-вещественном моделировании ограничиваются согласными стратифицированными осадочными, вулканогенно-осадочными, вулканогенно-плутоногенными, метаморфическими комплексами. Среди структурно-минерагенических зон выделяются рудоносные кремнисто-сланцевые, сланцевые, кремнисто-сланцево-карбонатные, терригенно-карбонатные, сульфато-карбонатные, галогенные. По составу вулканических рудоносных формаций – мафические, мафически-салические, салические. Плутоногенные комплексы по составу подразделяются на ультрамафические, мафические, мафически-салические, салические и фойдитовые. Среди метаморфитов выделяются зоны гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой, зеленосланцевой фаций, зоны развития ультраметаморфических комплексов. Особо стоят рифтогенные, орогенные комплексы и зоны тектономагматической активизации.

Среди них различаются следующие конкретные типы моделей рудных полей.

1. Редкометалльные пегматитовые с W, Sn, Nb, Ta, Li, Rb, характеризуются богатыми содержаниями металлов и малыми ресурсами – запасами полезных компонентов. Размещаются среди интрузий, гранито-гнейсов, кристаллических сланцев.

2. Редкометалльные апогранитовые руды Be, Sn, Li, Nb, Ta в апикальной части гранитных массивов среди микроклин-альбитовых, мусковитовых метасоматитов-апогранитов. Максимальные содержания рудных компонентов характерны для верхней эндоконтактной зоны интрузий.

3. Редкометалльные грейзеновые W, Sn, Bi, Mo, Be, Li кварцево-жильного, штокверкового типа располагаются в эндо-экзоконтактах гранитных массивов в зонах интенсивной грейзенизации рудовмещающих пород. Крупные рудные штокверки располагаются над скрытыми куполами гранитов. Развита три типа рудных полей: в эродированных гранитных массивах, в эндо-экзоконтактах интрузивов, в надкупольных зонах интрузивов.

4. Редкометалльные Mo, W кварц-полевошпатовые, гумбеитовые, березитовые. Рудные поля штокверкового, жильного типов над куполами гранитоидов. Содержания металлов убогие, но ресурсы и запасы соответствуют крупным и уникальным рудным объектам.

5. Золоторудные, золото-платиноидные, медно-полиметаллическисульфидные, уран-ванадий-золото-сульфидные в черносланцевых толщах фанерозоя. Проявляется рудная зональность: шеелит, золото → пирит, арсенопирит, золото, платина → арсенопирит, золото-платина → золото, полисульфиды → сульфосоли, антимонит, золото, палладий. Руды залегают в крупных зонах метасоматитов – лиственитов-березитов или пропилитов-аргиллизитов.

6. Золото-теллур-серебряные жильно-штокверковые в зонах пропилитов-эйситов-аргиллизитов в вулканоплутонических комплексах кальдерного типа. Месторождения мелкие, крупные и гигантские по ресурсам-запасам золота и серебра.

Разработке моделей рудных полей и месторождений предшествует анализ критериев и признаков прогнозирования конкретной рудной формации. Рудноформационные представления должны полностью отвечать задачам прогноза, поскольку прогноз площадей возможного промышленного скопления рудного вещества определенного состава осуществляется на основе изучения геологических обстановок и

структурных условий рудолокализации. В процессе наземного и глубинного геологического картирования (ГГК) и поисков рудных месторождений при получении новых данных предложенная модель может подвергаться корректировке. При разработке моделей, ориентированных на решение прогнозно-поисковых задач при ГГК, должны анализироваться не только особенности моделируемой рудной формации и критерии ее прогнозирования, но и опыт проведения ГГК на площадях, перспективных в отношении данной рудной формации. Модель должна создаваться так, чтобы на основе логических или вычислительных операций с ней можно было предсказывать вероятные последствия тех или иных решений при отборе комплекса методов, а также методики исследования рудоконтролирующих геологических тел и поисковых признаков. Все это позволяет отбирать оптимальные варианты интерпретации материалов при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых, при выделении рудоперспективных участков и оценке прогнозных ресурсов.

При среднемасштабном ГГК необходимы модели минерагенической зоны, рудного района, рудного узла, а при крупномасштабном ГГК – модель рудного поля или месторождения прогнозируемой рудной формации. Объединение моделей в единую двухуровневую систему при таком построении моделей, когда объект моделирования более низкого уровня входит в состав модели высокого уровня в качестве одного из ее элементов. Например, рудное тело является элементом модели месторождения или рудного поля; месторождение – элементом модели рудного района или зоны; рудный район – элементом минерагенической зоны (принципы матрешки).

Моделирование на каждом уровне позволяет устанавливать связи между перечисленными элементами и рудоконтролирующими геологическими телами того же уровня, т.е. такие, которые отражают закономерности размещения рудных объектов. Например, на рис. 10–14 приведены модели рудных районов различных рудных формаций. Показаны связи оруденения с гранитоидными плутонами, вулканитами, зонами региональной пропилитизации. Внутренняя структура месторождений в рамках данных моделей не рассматривается, поскольку месторождения являются объектами моделирования на более низком уровне. В последнем случае первостепенное значение имеет связь рудных тел с порфировыми интрузиями гранитоидов, с зонами гидротермально-метасоматических преобразований пород. Тогда в поисковый комплекс необходимо включать методы, обеспечивающие возможность выявления указанных признаков.

Модели рудного района, рудного поля отражают главные элементы структуры рудоносных порфириновых интрузий, положение в пределах штоков рудоносных уровней с различными минеральными комплексами. Рудные тела этих объектов контролировались эндо-экзоконтактами порфириновых штоков. Внутренние части штоков оруденения не несут. Для рудных концентраций, окружающих штоки, свойственна рудно-метасоматическая зональность: ядро богатых медных руд; внутренняя зона богатых медно-молибденовых ассоциаций и верхняя зона халькопирит-молибденовых руд с золотом. Ядро медных руд совмещается с ортоклазитами и филлизитами, а внешняя зона – с пропилитами (см. рис. 1, 3, 54, 59, 66).

Модели геологоструктурных факторов размещения оруденения

Ю.С. Шихиным и В.Н. Вашкариным [1988 г.] на примере Кармазарской рудной провинции Узбекистана разработаны приемы количественной оценки факторов размещения эндогенного оруденения. В основу положены материалы геологическо-

го картирования рудных районов в масштабе 1:50000. Влияние рудоконтролирующих факторов оценивалось по отдельным грациям характеристик с сопоставлением с данными опробования на экспериментальном участке. Заключительной операцией являлось обобщение данных по всем позициям и суммарная оценка ожидаемой рудоносности. Анализ выполнялся в три этапа: подготовка исходного материала, количественная оценка факторов, суммарная оценка оруденения по факторам.

Анализ геологоструктурных (контроль оруденения разломами и внутриблоковыми разрывами), литологических, магматических факторов, глубины рудообразования на количественной основе позволили построить карты: структурно-тектоническую, распределения тектонических напряжений, металлоносности разломов, глубин эрозионного среза, рудоносности. На рис. 103 приведена специальная карта, отражающая геометризацию всех рудоконтролирующих факторов. На нее нанесены геологоструктурные элементы и дана их группировка по факториальным признакам (по количественным показателям). Частные градиенты использованы для суммарной оценки факторов – это алгебраическая разность между показателями оруденения в данной категории и средним по выборке. Оценка производилась по карте рудоконтролирующих структурных элементов, по которым поле влияния факторов разделилось на ряд участков. В результате оценки в метропроцентах карта геологически однородных позиций превратилась в вариант карты перспектив рудоносности (рис. 104). На ней выделены рудоперспективные участки с ресурсами категорий P_2 и P_1 . На этой карте 83% месторождений совпали с позициями, характеризующимися оценочными метропроцентами выше минимально промышленного значения подсчетного параметра. Подсчитанные прогнозные ресурсы оказались близкими к разведанным запасам рудных объектов с коэффициентом корреляции между ними + 0,75.

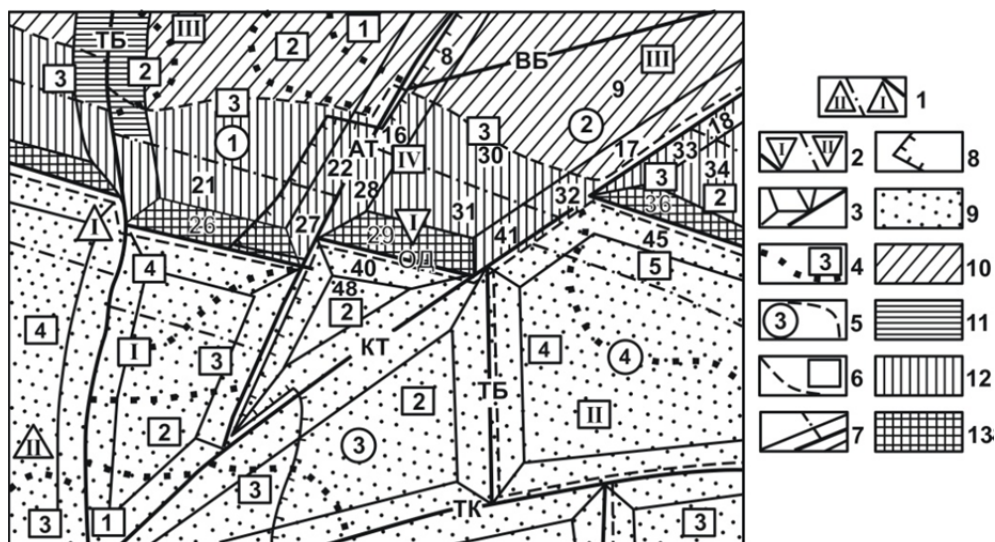
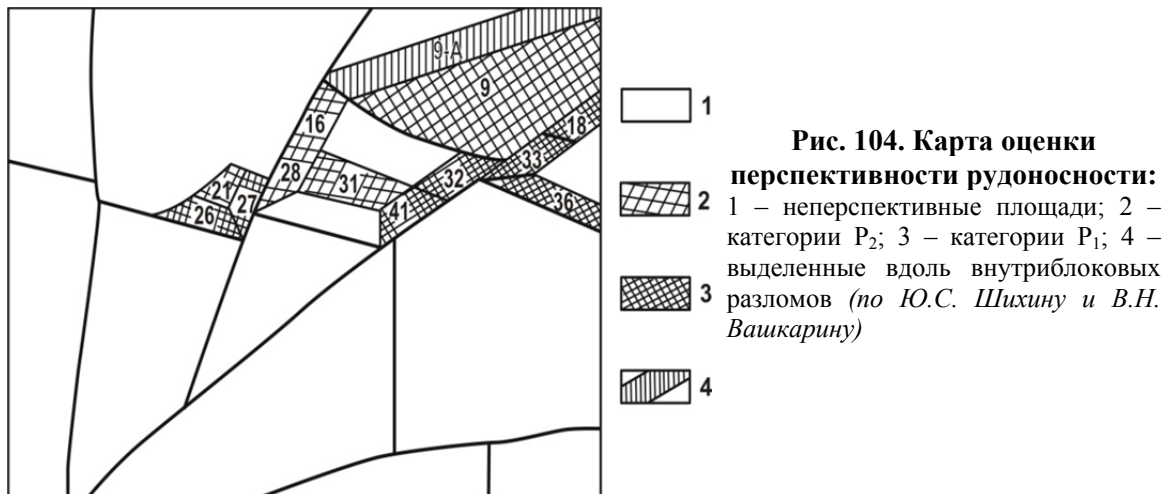


Рис. 103. Карта рудоконтролирующих структурных элементов

и геологически однородных позиций с оценкой в категориях метропроцентов:

1 – пределы влияния рудовыводящих разломов в висячих боках; 2 – то же, в лежачих боках; 3 – системы разломов с внешними границами их зон; 4 – градации интенсивности полей напряжений; 5 – категории состава пород; 6 – типы разрезов; 7 – позиции контуров категорий; 8 – пределы распространения оруденения; 9 – меньше минимально промышленного значения метропроцента; 10 – больше минимально-промышленного; 11 – среднее значение того же признака; 12 – высокие значения; 13 – максимальные значения (по Ю.С.Шихину и В.Н.Вашкарину)



Следовательно, суммарная оценка рудоносности по геологическим факторам может служить количественной моделью для обоснования перспектив рудных полей в регионе.

2.3.3. Генетические модели

Такие модели отражают геологические процессы, обусловившие формирование и геологическое строение рудных районов, рудных зон, рудных узлов, рудных полей и месторождений. Они позволяют предсказывать условия локализации и особенности строения рудных объектов разного ранга. Генетические модели используются для установления рудоконтролирующих критериев прогнозирования и признаков, для выделения рудоперспективных площадей. Основой для построения генетической модели являются геотектонические и структурные модели, геофизические и геохимические поля, выявляемые дистанционными, подводными и наземными методами. На эталонных объектах устанавливаются петрографо-минерогенетические парагенезисы, расплавно-рассольные, газожидкие включения в минералах руд, магматитов, метасоматитов, их изотопный состав, результаты экспериментальных исследований процессов породо- и рудообразования.

Л.Н. Овчинников [1988, 1992] к числу главных генетических факторов, на которых базируется построение генетических моделей, относит глубинность зарождения и тип геологического процесса, порождающего рудообразование, источник рудного вещества, источник энергии рудного процесса, рудообразующий раствор, среду и механизм отложения рудного вещества, взаимодействие с вмещающими породами, зональность, термодинамическую обстановку. Именно стандартность проявления оруденения и последовательность развития рудных процессов дает возможность создания генетической модели месторождения на основе единого подхода. Конечным итогом построения таких моделей является выделение определенной формулой генотипа месторождения, отражающего качественный выбор параметров. Они характеризуют тот или иной тип оруденения и позволяют количественно выражать эти параметры.

Для эндогенных месторождений в районах развития интрузивных комплексов, исходя из близости связи оруденения с магматизмом, источников рудного вещества, растворов и энергии, выделяются три группы генетических моделей месторождений

– имеющие *прямые генетические, парагенетические и предполагаемые парагенетические (телемагматические) связи* с магматизмом.

Модели месторождений магматического генезиса составляются для объектов, локализованных среди различно дифференцированных интрузий ультраосновного–основного состава – хромитовых, титаномагнетитовых, медно-никелевых (с Pt, Pd, Au), апатитовых, флогопитовых, железо-редкометалльно-редкоземельных и других.

Модели парагенетической группы месторождений включают объекты порфировой группы с медно-молибденовым, золото-платиноидно-медным оруденением; золото-кварцево-сульфидные, редкометалльно-золоторудные, полиметаллически-сульфидные и другие (рис. 105, 106).

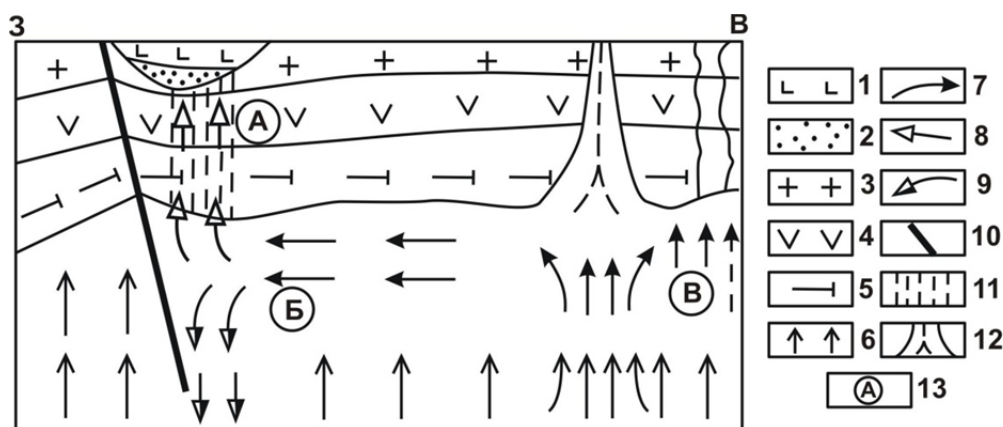


Рис. 105. Схема генетической взаимосвязи рудоносных формаций Сибирской платформы (по А.П. Лихачеву, 1988):

1 – траппы; 2 – карбонатно-терригенные отложения наложенных прогибов; 3 – гранитный слой с аллохтоном; 4 – базальтовый слой; 5 – реститовый слой мантии; 6-9 – тепловые и расплавные потоки в астеносфере; 6 – тепловой поток, 7 – поток расплава, 8 – расплав в земной коре, 9 – опускающийся рестит; 10 – зона схождения литосферных плит; 11 – магмовыводящие разломы; 12 – область поступления рестита в земную кору; 13 – участки генерации и транспорта рудоносных магматов

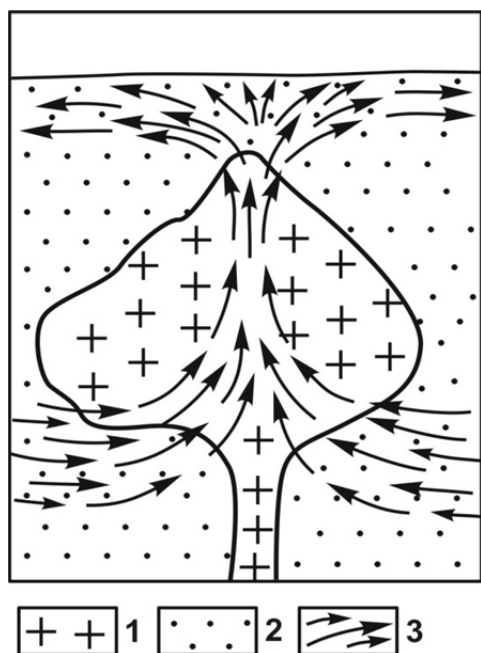


Рис. 106. Модель притока метеорной воды из окружающих пород в нижние части остывающего плутона (по В.Т.Покалову, 1988):
1 – остывающий плутон; 2 – вмещающие породы; 3 – направление движения поровых растворов

Модели телемагматического типа основаны на объектах, связанных с потоками глубинных гидротерм, вне прямой связи с магматизмом. В этих моделях отражаются условия образования гидротерм, механизм транспорта флюидов, мобилизация металлов по пути движения растворов, их смешение с подземными водами и рудоотложение.

Построение генетических моделей стратиформных месторождений (третья группа) опирается на анализ среды – рудовмещающих формаций и комплексов. Отражаются соотношения сингенетических (по отношению к осадконакоплению) и эпигенетических процессов в формировании оруденения, характер сингенетического накопления рудных элементов (осадочный, гидротермально-осадочный, вулканогенно-осадочный), а также время и причины их эпигенетического накопления или перераспределения. Примерами служат модели свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах; медистых (с Au, Pt, Pd, U, Th, Re) песчаниках-сланцах; золотые и золото-платиновые в черносланцевых формациях фанерозоя и др.

При формировании моделей формирования колчеданных месторождений учитываются следующие факторы [Рудообразование..., 1988]:

1. Рудообразующие гидротермальные системы возникают в результате циркуляции морских вод (рециклинга) в вулканитах под действием магматического фактора.

2. Источником цветных металлов и части железа являются подстилающие породы, в их составе находятся Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Re, Hg, Se. Процессы зеленокаменного преобразования базальтов приводили к мобилизации этих элементов морскими водами и отложения их в формирующихся рудах.

3. Разгрузка гидротерм и накопление рудного вещества следовали в водных условиях из геохимически единого раствора, до образования пород кровли морских базальтов.

4. Дефицит железа в гидротермах восполнялся за счет железистых осадков, возникавших в процессе палагонитизации базальтового стекла.

5. В областях кремнистого вулканизма источником серы являлся магматогенный сероводород (при дегазации магм и обогащавший гидротермы).

6. Наличие источника тепла от неглубоко залегающего магматического очага обеспечивало развитие океанских рудообразующих систем.

При проведении прогнозно-поисковых работ на закрытых территориях могут применяться различные варианты реализации генетического подхода: использование имеющихся генетических моделей рудной формации, определяющей перспективы площади; разработка новых моделей, отражающих особенности рудной формации в регионе; разработка частных генетических моделей применительно к конкретной территории. Но при всех вариантах должна соблюдаться непротиворечивость к известным на территории закономерностям размещения рудных полей и месторождений, а так же их предсказательных возможностей. Предложенная генетическая модель должна служить средством для выявления новых закономерностей или уточнять известные.

При генетическом моделировании надо учитывать следующие принципы:

➤ геологической конвергентности – возможности возникновения сходных или даже одинаковых типов руд, парагенезисов при различных геологических процессах;

➤ унаследованности оруденения, определяющей совмещение в общих структурах минерализации разных эпох, закономерную преемственность в составе минерализованных пород и руд;

➤ подобия развития минерализации в различных масштабах пространства и времени;

➤ принцип симметрии Кюри-Шафрановского, определяющий основные черты зональности руд и сопровождающих метасоматитов.

2.3.4. Геолого-генетические модели рудных формаций

Рудная формация как объект модельных построений – это группа однотипных рудных месторождений с характерными минеральным составом, последовательностью формирования минеральных парагенезисов, возникших в сходной геологической обстановке [Рудообразование..., 1988]. Генетическая сущность рудных формаций, образующихся как следствие проявления в природе определенных тектонических, магматических, метасоматических и других процессов, имеющих влияние на образование рудных месторождений и поддающейся количественной оценке, позволяет использовать их для построения генетических моделей. Создается обобщенный модельный образ процесса рудообразования, включающий широко развитые в природе явления конвергенции. Без построения геолого-генетических моделей рудных формаций невозможно полное объемное понимание рудно-магматических, рудно-метасоматических и других эндогенных рудообразующих систем в объеме месторождения, рудного поля, рудного узла, рудного района. Это является научной основой крупномасштабного прогнозирования.

Геолого-генетическая модель рудной формации выступает как объединение, совокупность элементов модели, учитывающих отдельные параметры или сумму параметров и характеризующих геолого-генетические особенности рудообразующей системы или ее составных частей. Сама интегральная модель является образным выражением динамической рудообразующей системы рудной формации с учетом ее пространственно-временной эволюции. Такая модель объединяет три главные области динамической рудообразующей системы: корневую часть магмо- и флюидозарождения, в которой генерируются рудообразующие процессы, определяющие энергетическое состояние и флюидный режим всей рудообразующей системы; зону транспорта (тепло- и массопереноса); область концентрированного рудотложения и формирования ореолов рассеяния элементов (рудное поле, месторождение). Эти же факторы определяют вертикальный и латеральный размах рудообразующей системы, захватывающий до 1,2 – 5 км по вертикали в структурах земной коры, а также ее масштабы и параметры [Генетические модели..., 1983].

Каждая обособленная область такой рудообразующей системы характеризуется своими параметрами и набором элементов модели. Для корневой части системы – это источники энергии, источники рудообразующего вещества, источники флюида (мантийные, коровые и смешанные); уровни магмогенерации и условия формирования магм, потенциальная рудогенерирующая роль магм; соотношения мантийной и коровой составляющих вещества и энергии; рудогенерирующая роль метаморфизма, метасоматизма и т.п. (рис. 103–108).

Зона транспорта вещества и энергии характеризуется элементами модели, раскрывающими формы тепло- и массопереноса, гидродинамический режим в недрах, особенности состояния и развития глубинных дренирующих структур и т.п.

Для области рудотложения элементами модели являются типы геохимических барьеров, анализ физико-химического состояния системы, состав и свойства рудообразующих флюидов, формы переноса компонентов руд, величины градиентов физико-химических, термодинамических параметров, пределы устойчивости парагенетических минеральных ассоциаций, условия развития околорудного метасоматоза и формирования геохимических ореолов рассеяния и концентрации элементов. Используются термобарогеохимические, изотопные, микрохимические, физико-химические,

электронографические, рентгеноструктурные исследования, парагенетический анализ, текстурно-структурные особенности горных пород и руд, расчет гетерофазных равновесий в системе «многокомпонентный флюид-минералы руд и околорудно-измененных пород», анализ распределения рудообразующих компонентов, минералов, тренд-анализ, дисперсионный анализ, экспериментальное и математическое моделирование процессов породо- и рудообразования [Моделирование..., 2008].

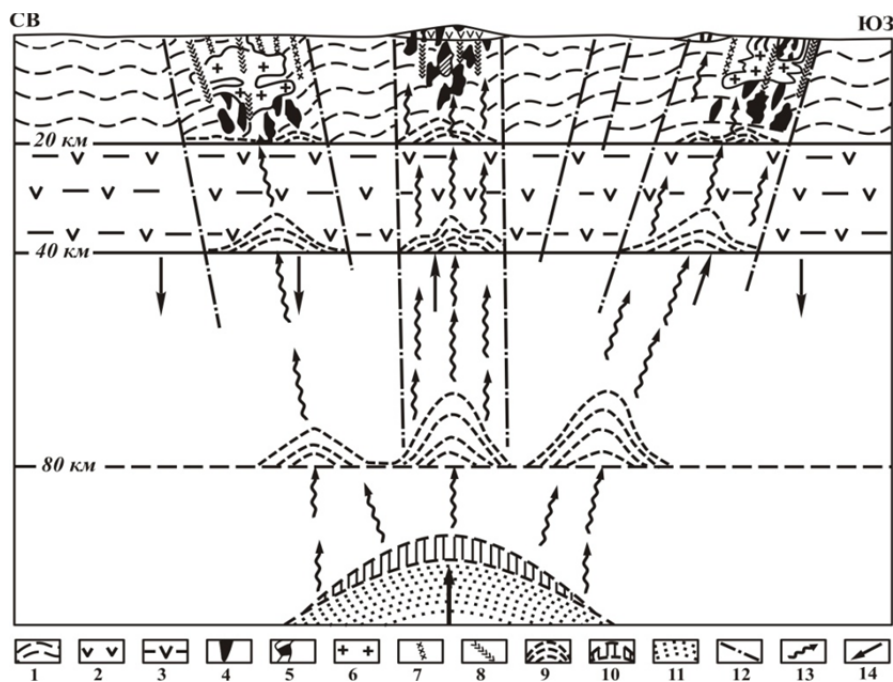


Рис. 107. Модель формирования комплексных золото-платино-платиноидных руд в черносланцевых горизонтах офиолитового пояса СВ Казахстана:

1 – седиментная кора; 2 – излившиеся андезиты-базальты; 3 – комплекс высоко метаморфизованных пород; 4 – гипербазиты; 5 – габброиды; 6 – гранитоиды; 7 – дайки диорит-лампрофиров, плагиогранит-порфиров; 8 – дайки диабазов долеритов, порфиров; 9 – внутрикоровые диапиры зоны формирования средних, кислых и основных расплавов; 10 – глубинные расплавы диапира; 11 – зоны частичного плавления образований диапира; 12 – глубинные разломы I и II порядков; 13 – глубинные флюидопотоки; 14 – направление движения магмогенерирующей области диапира

Непрерывным условием при разработке геолого-генетических моделей рудных формаций является взаимопроникновение геологических, физических и физико-химических, геохимических, термодинамических построений. Масштабы и специфика формирующихся месторождений во многом определяются характером динамической рудообразующей системы, степенью и полнотой ее эволюционного развития. Выделяются следующие классы природных рудообразующих систем: рудно-магматические, рудно-метаморфические, рудно-метасоматические, гидрогенно-магматические, осадочные, вулканогенно-осадочные, гидротермально-осадочные, комбинированные.

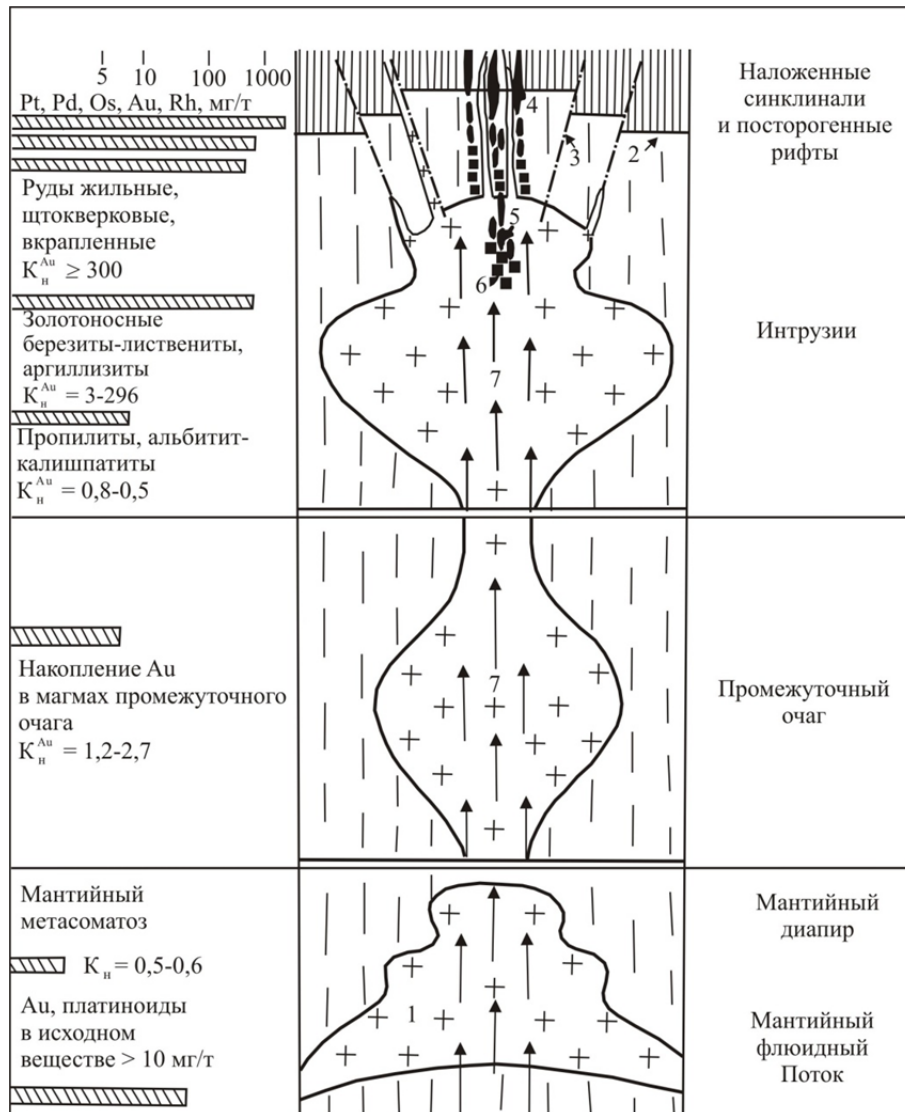


Рис. 108. Мантийно-коревая модель формирования золото-платиноидно-редкометалльных месторождений в черносланцевых толщах орогенно-рифтогенных структур протерозоя-фанерозоя.

1 – гипербазит-базит-плагиигранитные интрузии; 2 – компенсационные синклинали и посторогенные рифты; 3 – региональные глубинные разломы; 4-6 – руды: 4 – жильные, 5 – штокверковые, 6 – вкрапленные; 7 – флюидный мантийный поток

В конкретной геологической обстановке при длительном и сложном развитии эндогенных процессов часто реализуются несколько динамических рудообразующих систем, генетически связанных между собой. Тогда формируются месторождения последовательно проявленных рудных формаций, составляющих единый генетический ряд. Построение моделей отдельных рудных формаций и определение геологических взаимосвязей между родственными динамическими рудообразующими системами позволяют вскрыть общие закономерности возникновения рядов рудных формаций (рудных комплексов), обосновать функционирование эндогенных рудо-

образующих систем и таким образом выявить более широкие и общие закономерности развития процессов рудообразования, которые приводят к формированию конкретных рудных районов, металлогенических (минерагенических) зон, рудных провинций, рудных узлов, рудных полей и месторождений с определенной металлогенической и рудно-геохимической специализацией.

2.3.5. Физико-геологические (геофизические) модели рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых

Успехи прогнозирования поисков рудных месторождений зависят от создания наиболее достоверных геофизических моделей их формирования. Физико-геологическое моделирование используется для решения следующих задач:

- 1) создание региональных геофизических моделей минерагенических зон, рудных районов, рудных узлов, рудных полей (рис. 5–7);
- 2) оценка прогнозных ресурсов минерагенических зон, рудных районов, рудных узлов, рудных полей, аномалий, месторождений, рудопроявлений (рис. 12, 20);
- 3) изучение геофизических критериев, признаков прогнозирования промышленного оруденения для различных геологических структур (рис. 43);
- 4) построение физико-геологических моделей с целью совершенствования методики прогнозно-поисковых и оценочных работ (рис. 29);
- 5) выявление геофизических полей, отражающих локализацию отдельных месторождений, рудных тел и рудных столбов (рис. 49, 50, 63–65);
- 6) выявление внутренних структур месторождений и рудных тел на флангах и глубоких горизонтах на стадиях поисковых и разведочных работ.

В итоге создание типовых физико-геологических моделей позволяет более уверенно выявлять закономерности размещения отдельных рудоносных геологических структур и месторождений в физических полях – магнитных, гравитационных, электрических, сейсмических, радиометрических. По выявляемым свойствам, структурам геофизических полей, петрофизическим данным уточняются закономерности и причины связи физических полей, месторождений и намечаются рациональные пути их интерпретации. Решение этих задач позволяет моделировать конкретные рудоносные площади и месторождения.

Физико-геологическая модель рудного района, рудной зоны, рудного поля, месторождения включает систему абстрактных возмущающих тел, обобщенные размеры, форму, физические свойства и взаимоотношения которых аппроксимируют с необходимой для решаемых задач детальностью физико-геологических обстановок. Эти составляющие модели являются её элементами [Прогнозно-металлогенические..., 1988].

При глубинном геологическом картировании (ГГК) физико-геологическая составляющая общей модели служит основой для выбора комплекса геофизических методов, которые обеспечивают решение задач прогнозно-минерагенических исследований и поисков месторождений полезных ископаемых. Они также служат основой интерпретации результатов геофизических работ при выделении рудоконтролирующих структур и геологических тел, изучении их формы, внутреннего строения, при выделении объектов прогнозирования и при оценке прогнозных ресурсов. Основой для создания таких моделей служат геолого-структурные и петрофизические модели объекта, а также хорошо изученные геофизическими методами эталонные объекты. Дополнительными задачами ГГК является выяснение влияния мощности

покровных отложений, поскольку геологические элементы моделей рудных полей и месторождений часто сопоставимы с показателями мощности покровного чехла.

При разработке физико-геологической модели исходную геолого-структурную модель иногда приходится генерировать с целью объединения элементов, мало различающихся по физическим свойствам. Если в целевое назначение модели входит также выбор комплекса каротажных методов и их интерпретация, то при разработке этой части физико-геологической модели генерализации не требуется. Но при любом целевом назначении физико-геологической модели необходимы детальные сведения о физических свойствах элементов исходной геолого-структурной основы. Для составления петрофизической модели необходимы результаты измерения физических свойств и каротажа скважин на эталонных объектах. Одни и те же литологические комплексы пород в разных регионах могут существенно различаться по петрофизическим параметрам. Надо учитывать возможность отклонения реальных конкретных физических параметров пород от осредненных значений при разработке средних значений физических свойств пород. Внимательно изучается петрофизическая зональность объекта, дисперсия физических свойств, изменчивость их по латерали и вертикали разрезов.

Моделирование физических полей осуществляется путем качественного анализа геофизических данных по эталонным объектам, последующего его обобщения на основе петрофизической модели или расчетным путем. При построении той части физико-геологической модели, которая предназначена для выбора каротажных работ на их интерпретации, используется качественный анализ данных каротажа на эталонных объектах и их обобщение на основе петрофизической модели. Необходимо учитывать влияние помех от неоднородности физических свойств покровных отложений, вмещающей среды и самого рудного объекта.

Натурные модели выбираются в пределах изучаемой минерагенической зоны по результатам геофизических работ на эталонном объекте. На рудоперспективных площадях рекомендуется составлять несколько натуральных моделей.

Примерами регионального и детального физико-геологического моделирования рудных районов, рудных полей и месторождений могут служить графические материалы, представленные на рис. 1, 2, 14–17, 20–22, 29, 37–39, 41–43, 49, 50. Методика математического моделирования, основанная на подборе неоднородно намагниченных моделей, позволяет определять неоднородную намагниченность по латерали и на глубину. Тогда можно оценивать и горизонтальные и вертикальные размеры объекта и решать задачи локального прогнозирования, давать оценку перспектив магнитных аномалий при поисках скрытого оруденения, оценку глубоких горизонтов и флангов месторождений, оценку основных параметров рудных тел и прогнозных ресурсов [Моделирование..., 2008]. При поисках слепых и погребенных месторождений рекомендуется проводить картирование возмущающего объекта на основе расчетной намагниченности и по латерали и по падению.

Исследования показали, что приуроченность рудных тел и окружающих метасоматитов в рудных полях определяется их нахождением в аномалиях физических полей с различными значениями напряженности в породах. Размеры и интенсивность аномалий физических полей разного знака и напряженности, их постоянная пространственная сближенность согласуются с интенсивностью и масштабами прошедших рудообразующих процессов.

2.3.6. Модели формирования геохимических полей

Геохимические поля проявляются во всех типах рудных объектов от минералогических зон до рудных полей и месторождений разного минерального состава и формационной принадлежности. Они возникают в процессе функционирования магмо-флюидодинамических рудообразующих систем в различных структурах земной коры. Аномально геохимическое поле формируется в период максимального поступления в геологическую структуру внешней энергии, создающей гидротермальную рудообразующую подсистему. При неоднократном поступлении флюидов происходит объемное разрастание возникающих геохимических ореолов и более дискретное их «сгущивание–стягивание» с образованием в дальнейшем вкраплено-прожилковых большеобъемных бедных руд. Затем они перерождаются в штокверково-жилвные рудные образования. Поступающая энергия в зоны формирования геохимических полей обеспечивается нагретыми флюидами – продуктами магмо-флюидодинамических глубинных систем в условиях периодически-ритмического развития внутрипланетного тектонического процесса.

Вдоль восходящих ветвей конвективной термофлюидной системы происходит взаимодействие ювенильных горячих глубинных и местных холодных растворов, их смешение и распад с минералоотложением и возникновением геохимических полей с вкрапленной продуктивной минерализацией. Возникавшие кислотные растворы обеспечивали формирование метасоматитов, а затем и продуктивной минерализации. Зональность температурного поля определяет характер размещения гидротермальной минерализации и отражается на структуре аномального геохимического поля (рис. 105–108). Следовательно, для образования богатого оруденения необходимы долгоживущие дренирующие зоны, проницаемость которых для магм и флюидов поддерживается периодически-ритмическими тектоническими подвижками.

В.Г.Ворошиловым [2077 г.] предложен комплекс методов исследования эндогенных геохимических полей. Он включает R-факторный, дискриминантный, регрессионный методы, метод нейронных сетей, кластер-анализ переменных. Дополнительную информацию для построения геохимических моделей рудообразующих систем дают материалы геохимической зональности рудных полей и месторождений, а также коэффициенты дифференциации химических элементов в гидротермальном процессе.

Эти данные служат основой для прогнозирования и поисков скрытого оруденения в рудных полях, месторождениях различного геолого-промышленного и формационного типа.

2.3.7. Физико-химические модели рудообразующих систем

Разработка обобщающих геолого-генетических моделей типовых месторождений полезных ископаемых образуется на количественном физико-химическом моделировании отдельных рудообразующих процессов. Реставрация физико-химических, динамических моделей процессов минералообразования связана прежде всего с энергетическими характеристиками флюида, с источниками его генерации, с длительностью его существования, с содержанием элементов во флюиде и его изменении во времени. Рассматривается термодинамика отделения флюидной фазы при затвердевании магм и формировании гидротермальной системы. Формированию рудных месторождений благоприятствуют гомодромный тип дифференциации

магм, в котором по мере кристаллизации расплава снижаются температуры ликвидуса и солидуса из-за накопления щелочей и летучих компонентов. Насыщение расплава летучими компонентами связано с оттеснением в жидкость растущими кристаллами растворенных в магме газов. Это увеличивает давление в системе. После начала кристаллизации магмы парциальное давление летучих превышает давление насыщения, что приводит к отделению летучих. Термодинамика ретроградного кипения магм в камере описывается уравнением $P_g - P(Zf - \Delta P_r + 2\sigma/r_p)$, где P_g – суммарное парциальное давление летучих в магме; Zf – координата фронта гетерогенной зоны в расплаве; σ – поверхностное натяжение в магме; r_p – начальный радиус устойчивого газового пузырька в магме [В.Н. Шарапов и др., 1987 г.].

Начальное содержание летучей фазы в расплаве определяют по формуле

$$C_{20} - f_{iE}^{1-K} K_i (\rho_g Z_p)^{1/j} = 0,$$

где ρ – плотность магмы; g – ускорение силы тяжести; C_{20} – начальное содержание летучих в расплаве; ρ_g – коэффициент распределения летучего между расплавом и твердой фазой; F_{iE} – сечение жидкой фазы в конце зоны затвердевания; Z_p – координата начала кипения; K_i – коэффициент пропорциональности; j – показатель степени в уравнении растворимости летучего в расплаве.

Расчеты показали, что при становлении металлоносных магматических комплексов наблюдается последовательность отделения летучих компонентов от интрузий: 1) начальный этап – ограниченное отделение или его нет; 2) отделение летучих и образование рудно-метасоматической зональности; 3) затухание флюидоотделения. Расчеты дают основание полагать об ограничениях размеров и времени кипения в интрузиях. Поэтому для скарных месторождений железа, полиметаллов, золота размеры высокотемпературной зоны (880–360°C) достигают вертикальной протяженности всего 500–1500 м.

Н.С. Жатнуевым [1998 г.] рассмотрена модель формирования паровых зон в гидротермальных системах и связи с ними процессов рудогенеза. Он существенно усовершенствовал раннюю схему Г.Л. Пospelова [1973г.]. По Г.Л. Пospelову модель гидротермальной системы включает в себя очаговую водно-газовую зону, корневую зону стягивания гидротерм, стволую зону проточного режима, зону рассеянного восходящего флюида и зону рассеяния термогидроколонны в вадозных водах.

В общем виде гидротермальная система может представлять ряд конвективных ячеек, не обязательно с центральным восходящим потоком флюидов, осложненных фазовыми переходами флюида на различных уровнях глубинности. Фазовые переходы являются причиной кислотно-щелочной дифференциации флюида. Она перманентно возникает и исчезает вместе с паровыми зонами. С пульсациями паровых зон связано и пульсационное гидротермальное минералообразование. Все это обусловлено гравитационно-конвективным движением разогретого флюида. Геохимические барьеры, сопутствующие паровым зонам, способствовали наиболее интенсивному минералообразованию. Высокие концентрации солей способствуют удалению паровой зоны в область высоких давлений. То есть геохимический барьер, возникающий на границе жидкость–пар, может функционировать не только в приповерхностных условиях, но и на глубинах, в условиях высоких температур, вплоть до температур солидуса кислых расплавов. Нисходящие потоки холодных вод, попадая в очаги высокотемпературных гидротермальных систем, нагреваются и снова движутся вверх. Как показали эксперименты Н.С. Жатнуева по выщелачива-

нию вулканических стекол, золото и серебро на фоновом уровне мобилизуется гидротермами в количестве до 50% от их исходного содержания. Следовательно, вулканические породы могут являться источником рудного вещества. Периодическое сжатие и расширение паровых резервуаров являются причинами периодической смены кислотного (в зоне конденсации парового флюида) и щелочного (в зоне кипения у основания паровой зоны) на нейтральный режим флюидов.

Д. Уайтом с коллегами [White e.a., 1971 г.] была предложена модель пародинамических систем. В 1979 году И.Н. Кигаи представил представление о двухфазности гидротерм в рудообразующих системах.

Рядом исследователей – В.В. Алексеевым, О.В. Брызгалиным, Г.П. Зарайским, Г.Р. Колониным, Г.Б. Наумовым, Р.П. Рафальским и др. разрабатываются физико-химические основы гидротермального рудообразования. Такие модели включают оценку условий формирования руд, околорудных метасоматитов и транспорт рудных компонентов водными растворами. Создаются новые методы расчета на ЭВМ (например «Селектор» И.К. Карпова) и выполняется моделирование процессов гидротермального рудообразования путем термодинамического анализа равновесий в монокомпонентных и многофазных системах.

Физико-химическое поведение платины и палладия в процессе кристаллизации железо-медно-никелевых сульфидсодержащих расплавов рассмотрено А.В. Перегудовой [1999 г.]. Эксперименты показали, что в температурном интервале 900–840° С в равновесии с высокотемпературными растворами присутствует сульфидный расплав. Исходное соотношение $Cu/(Fe+Ni+Cu)$ в кристаллизующейся системе влияет на коэффициенты распределения главных металлов и платиновых элементов. При кристаллизации максимально медистых расплавов платина выделяется в виде сульфида $Cu_2Pt_2S_4$, а также совместно с палладием распределяется между моносульфидным твердым раствором и остаточным расплавом, с коэффициентом распределения 0,4.

2.3.8. Статистические модели

Статистические модели являются разновидностями и геологоструктурных и геологогенетических моделей – геологоструктурных, рудноформационных, геохимических, геофизических, петрофизических, прогнозно-поисковых, геолого-промышленных, комплексных и многофакторных. Статистическая модель по сравнению с качественным вариантом геологоструктурной модели обладает большей точностью при описании количественных характеристик и различных вариаций особенностей моделируемого объекта – рудного района, рудного поля, месторождения и рудного тела. Статистические модели позволяют осуществлять предсказания вероятных пределов колебаний параметров моделируемого объекта и возможных его состояний, которые даже не наблюдались в эталонной выборке. Простейшим случаем таких предсказаний является оценка вероятности проявления тех или иных рудных или рудоконтролирующих тел или их свойств. Статистическая модель позволяет производить количественные расчеты при оценке информативности критериев прогнозирования, при выборе комплекса геологических, геофизических и геохимических методов, оптимальных параметров сетей наблюдений при их применении.

Статистические модели включают следующие характеристики [Прогнозно-металлогенетические..., 1988]:

- 1) средние значения \bar{x} и стандартное отклонение σ для характеристик, распределение которых не противоречит нормальному закону;
- 2) средние геометрические \tilde{x} и стандартные отклонения ε для характеристик с логнормальным распределением; к этой группе характеристик относятся все показатели размеров, объемов, содержаний компонентов; иногда при логнормальных распределениях вместо \tilde{x} и ε удобнее пользоваться средним значением логарифмов $\ln x$ и стандартным отклонением от логарифма $\sigma \ln x$. Между этими величинами существуют простые соотношения: $\ln x = \ln(x)$; $\sigma \ln x = \ln \varepsilon$;
- 3) для характеристик, к которым не удастся подобрать закон распределения, приводятся только средние; такими характеристиками в некоторых случаях являются процентные значения площади, занятые различными горными породами;
- 4) вероятность присутствия признаков; оценкой их являются отношения части объектов (рудных полей, месторождений, рудных тел), на которых данный признак наблюдался, к общему числу объектов, входящих в эталонную выборку; доверительные границы для этих величин определяются по статистическим таблицам или номограммам;
- 5) координаты корреляций между признаками;
- 6) вероятности зональных переходов P_c/d , характеризующих метасоматическую или геохимическую зональность; оценкой P_c/d является отношение числа месторождений, на которых некоторая, типичная для данного типа месторождений метасоматическая или геохимическая зональность, сменяется по направлению от центра к периферии объекта зоной d , к общему числу месторождений, на которых наблюдается зона c ; в матрице вероятностей зональных переходов слева по вертикали располагаются зоны, рассматриваемые как c_i , вверху по горизонтали – $d_j (j \neq i)$; таким образом, каждая строка матрицы характеризует для некоторой зоны вероятности ее перехода в любую из зон d_j .

Примером может служить статистическая модель месторождения медно-молибден-порфировой формации (см. табл. 11–13), составленная по выборке из 44 месторождений различных регионов мира [Глубинное..., 1981]. Оценка вероятности признаков в модели (табл. 11) и коэффициентов корреляции между ними (табл. 12) позволяют производить количественную оценку их информативности применительно к той или иной конкретной площади, а также количественно оценивать степень перспективности потенциальных рудных полей и месторождений.

Матрица вероятностей зональных переходов (табл. 13) характеризует возможные варианты зональности продуктивных метасоматитов: каждая строка матрицы описывает для некоторой зоны вероятности ее перехода в любую из остальных. На основании такой статистической модели на одном из погребенных медно-молибден-порфирировых месторождений была количественно оценена вероятность наличия на глубине кварц-калишпатовой зоны, что позволило предсказать значительно больший вертикальный размах оруденения, чем предполагалось ранее.

Таблица 11

**Статистические характеристики геологических признаков
молибден-медно-порфировых месторождений**

Статистические параметры	Неметрические признаки (n = 44)*					
	Магматические породы					
	Кислые и умеренно кислые		С повышенной щелочностью		Средние и основные	
	I	II	I	II	I	II
	1	2	3	4	5	6
Вероятность присутствия признака 95%-ые доверительные границы для вероятности	0,58	0,60	0,46	0,35	0,63	0,35
	0,47– 0,69	0,48– 0,72	0,31– 0,60	0,22– 0,48	0,52– 0,75	0,25– 0,47
	7	8	9	10	11	12
Вероятность присутствия признака 95% доверительные границы для вероятности	0,65	0,95	0,74	1,0	x = 1,07	x = 0,41
	0,54– 0,76	0,88– 0,99	0,63– 0,84	0,95–1,0	x = 1,9	x = 2,0

* n – количество эталонных объектов; I – интрузивные породы; II – породы слагающие малые тела, иногда субвулканические; 1,2...12 – номера признаков.

Таблица 12

Матрица коэффициентов между неметрическими признаками

Номера признаков	Номер признака*							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	+0,19							
3	+0,11	+0,06						
4	-0,08	-0,32	+0,18					
5	+0,19	-0,15	-0,02	-0,02				
6	+0,05	-0,08	-0,22	-0,04	-0,27			
7	-0,05	-0,21	-0,07	+0,35	-0,11	-0,18		
8	-0,18	+0,05	-0,24	-0,30	-0,17	+0,16	-0,16	
9	-0,16	-0,13	0	-0,03	+0,18	0	-0,11	-0,13

* номера признаков соответствуют номерам из табл. 11; количество наблюдений в выборке 44; пороговое значение коэффициента корреляции при уровне значимости 0,05 составляет $\pm 0,30$.

Таблица 13

Матрица вероятностей зональных переходов

Характер метасоматических изменений	Калишпатизация и окварцевание	Окварцевание и серицитизация	Хлоритизация и эпидотизация (пропилитизация)
Калишпатизация и окварцевание	–	0,93 (0,82–0,96)*	0,07 (0,03–0,16)
Окварцевание и серицитизация	0 (0–0,05)	–	0,73 (0,62–0,82)
Хлоритизация и эпидотизация (пропилитизация)	0 (0–0,05)	0 (0–0,05)	–

* В скобках 95%-тные доверительные границы для вероятности.

2.3.9. Геолого-математические модели

Математическое моделирование используется при изучении свойств, морфологии и строения природных скоплений полезных ископаемых, рудоносных геологических структур и процессов их образования. В качестве математических моделей используются символы и формулы, описывающие количественные взаимосвязи и закономерности распределения изучаемых признаков [Каждан, 1984].

Принципы математического моделирования определяются такими положениями:

- приемлемостью математической модели условиям соответствия ее свойств свойствам (содержанию) объектов моделирования;
- сложностью строения природных скоплений полезных ископаемых и ограниченностью эмпирических данных, препятствующих непосредственному применению детерминированных моделей; для выявления детерминированных составляющих большинство моделей строится на вероятностной основе, поскольку проявление случайной изменчивости изучаемых свойств свидетельствует не об отсутствии геологических закономерностей, а о недостатке знаний на данном этапе изучения недр;
- моделированием не истинных, а наблюдаемых свойств рудных скоплений или изменчивостью их свойств на изученном масштабном уровне их строения.

Наиболее широко используются вероятностные статистические и геостатистические модели, модели типа стационарных случайных функций и их гармонического анализа. В зависимости от выдержанности формы, сложности строения объекта, размеров проб и расстояниями между точками наблюдений экспериментальные данные могут представлять собой совокупности: случайных взаимонезависимых величин; случайных автокоррелированных величин с отчетливо проявленной периодичностью; пространственно взаимосвязанных величин. В первых трех случаях эффективно применение вероятностных моделей с использованием аппарата вариационной статистики случайных величин, теории стационарных случайных функций, гармонического анализа случайных функций или тренд-анализа, R-факторный, дискриминантный, регрессионный методы, нейронные сети переменных. В последнем случае возможно применение детерминированных моделей.

Использование статистических моделей целесообразно, если в наблюдаемой изменчивости признака отсутствует закономерная составляющая, и, следовательно, геометризация признака в изучаемом объеме недр практически невозможна. Статистические модели полностью абстрагируются от закономерностей пространственного размещения признаков, обеспечивая вероятностную оценку средних значений и характеристик изменчивости изучаемых свойств в пределах всего объема недр, который устанавливается другими независимыми способами.

При изучении одновременно двух и более случайных величин используются статистические модели двумерного, многомерного анализа. Например, оценка коэффициента корреляции ρ двух случайных величин x и y определяется через их ковариацию $Cov(x, y)$ и стандарты (σ_x, σ_y) : $\rho = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$, где $Cov(x, y) = \frac{\sum_1^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{n}$.

Целью геостатистического исследования является оценка средних значений изучаемых свойств полезных ископаемых как функции их пространственной изменчивости в зависимости от геометрии сети наблюдений, проб и оцениваемых блоков. Для этого путем интегрирования точечных вариограмм изучаемых свойств по гео-

метрическим элементам проб просчитываются характеристики наблюдаемой изменчивости. Они учитывают влияние геометрии расположения проб, а с их помощью оцениваются дисперсии и ковариации распространения наблюдаемых значений свойств по пробам на весь подсчетный объем.

Модели типа случайных стационарных функций применяются для изучения автокоррелированных эмпирических данных. Как статистические модели, они основаны на положениях теории вероятности. Такие модели обеспечивают оценку средних характеристик пространственной изменчивости изучаемого признака в зависимости от его геологической природы, густоты поисковой и разведочной сети и геометрии проб. Оценка производится с помощью автокорреляционных или структурных функций, вычисленных по конкретным данным изучаемого признака.

С помощью автокорреляционной функции выявляется сила связи между наблюдаемыми значениями параметров при различной густоте сети, и устанавливаются предельные расстояния распространения этих связей:

$$K_x \cdot (\bar{h}) = \frac{1}{L-h} \int_0^{L-h} [f(x) - \mu_x] [f(x-h) - \mu_x] dx.$$

Здесь L – длина исследуемого поискового или разведочного профиля; h – расстояние между пунктами наблюдений на профиле; $f(x)$ – переменная величина; μ_x – среднее значение переменной величины $f(x)$ в интервале от 0 до L .

Структурные функции

$$\gamma_x(h) = \frac{1}{L-h} \int_0^{L-h} [f(x+h) - f(x)]^2 dx$$

более наглядно характеризуют общий размах, скорость, интенсивность изменений геологического параметра и степени прерывистости оруденения в зависимости от его природных свойств и геометрии проб.

В случае изменчивости наблюдаемых значений геологических параметров, не удовлетворяющих условиям стационарности, рассматриваются характеристики структурных или автокорреляционных функций, усредненных по ряду показателей, описывающих изученные свойства в среднем в пределах заданного объекта. С помощью такой модели устанавливаются значения и доля неслучайной составляющей изменчивости, а по соотношениям расстояний предельной корреляции для различных направлений рассчитываются показатели анизотропии изучаемого состава. В строении полезных ископаемых выявляются элементы их неоднородности, а характеристики изменчивости изучаемых свойств оцениваются не в заведомо заданных объемах недр, а на том структурном уровне, который выявляется принятой сетью наблюдений.

Модели типа полигармонической случайной используются в условиях проявленной периодичности наблюдаемых признаков, в условиях колебательного процесса. Для количественного описания изменчивости геологического параметра тогда используется понятие спектрального состава случайной функции.

Спектральная плотность дисперсии рассчитывается через автокорреляционную с помощью преобразования Фурье:

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^n K_x(h) \cdot C_{OS} \cdot \omega h \cdot dh.$$

При решении практических задач вследствие дискретности сети наблюдений спектральная плотность дисперсии заменяется линейным спектром амплитуд гармоник различной частоты $\sum_{K=0}^{i=K} d = \sum_{n=0}^{n>K} \frac{1}{2} A \frac{2}{K}$, который показывает, каким образом общая

дисперсия признака распределяется между отдельными гармониками. Спектр наблюдений амплитуд записывается в виде случайной полигармонической функции $F(x) = \psi(x) + n(x)$, где $\psi = A_K \cdot C_{OS}(\bar{\omega}_K \cdot x + \varphi)$ – неслучайная полигармоническая функция с конечным количеством гармоник K ; $n(x)$ – случайная составляющая наблюдаемой изменчивости признака.

При создании моделей аномальных геохимических полей гидротермальных месторождений золота В.Г.Ворошиловым [2007 г.] использованы методы группировки переменных – R-факторный, дискриминантный, регрессивный, нейронные сети и кластер-анализ. В ряде случаев для идентификации строения аномального геохимического поля необходимо применять методы распознавания образов, линейного дискриминантного анализа и искусственных нейронных сетей.

R-метод факторного анализа предполагает вычисление значений факторов путем перемножения факторных коэффициентов на концентрации элементов, нормированные на среднее содержание по выборке. Диапазон колебаний вычисляемых величин по всем выборкам должен быть примерно одинаковым, по средним значениям равным нулю. При вычислении значений факторов используются не нормированные содержания элементов, а их кларки концентраций. Матрица факторных коэффициентов вычисляется на эталонном объекте.

В итоге составления такой модели можно не только визуально оценивать морфологию аномальных геохимических структур пространственно разобщенных объектов, но и количественно оценивать продуктивность каждой геохимической ассоциации в $KK \cdot m^2$. Последняя процедура реализуется в последних компьютерных программах Surfer, ArcView и др. (см. рис. 10, а–е).

На примере Таловского колчеданно-полиметаллического месторождения Рудного Алтая показана возможность моделирования системой «Геоскан»: к кластеру №1 отнесены элементы Ag, Pb, Zn, As, в меньшей мере Mn, Cu, Ti. Остальные четыре класса имеют близкий состав спектра, при ведущей роли Ba, Pb или Ag, но меньшую интенсивность геохимических преобразований. Это отражается в значениях функции SCAN (рис. 10, в). В результате выявлена картина геохимического поля, свидетельствующая о субвертикальной рудоконтролирующей структуре. На пересечении этой структуры с литологически благоприятными горизонтами и приурочены рудные тела. Здесь состав главной рудной ассоциации от нижних тел к верхним меняется в такой последовательности: Pb, Zn, Cu → Pb, Zn, Ba → Ba, Pb, Zn → Ba, As и Ag тяготеют к флангам рудных тел. В целом Ba, Ag, As являются верхнерудными элементами, а ассоциация Co, Ni, Cr, V развита на выклинивании рудных залежей, где находится вкрапленность пирита. Выявленная геохимическая зональность отвечает сепарационно-концентрационной [Ворошилов, 2007 г.]. Отчетливая зональность проявляется в распределении значений коэффициентов относительной концентрации родственных элементов – Co:Ni, Pb:Zn (рис. 10, е). Они фиксируют внешний контур полиметаллического оруденения. Максимальные значения коэффициента Ag·As:Ni·V, равные 5000...300000, рассчитанные в соответствии с рядом вертикальной геохимической зональности, отмечают надрудную часть аномальной структуры (рис. 10, д).

Тренд-анализ применяется для выяснения морфологии сложных геологических тел, геохимической, рудно-метасоматической, рудно-магматической зональности, при локальном прогнозировании в условиях глубоковскрытых рудных полей и месторождений. При изучении формы рудных тел на первом этапе обработки статистических геологических данных с помощью компьютерных программ рассчитывают уравнения тренд-поверхностей и графические изображения их в виде изолиний. Следующий этап выявления эмпирических закономерностей осуществляется графическим или аналитическим способами по специальным компьютерным программам. Определяют конфигурацию и геометрические свойства тренд-поверхностей, пространственное положение максимумов или минимумов показателей, положение осевых линий «рудных столбов», рудных тел, геохимических, минералогических аномалий и соотношений их с вмещающими породами.

Для количественной прогнозной оценки глубоких горизонтов и флангов рудных полей, месторождений, рудных тел, рудных столбов используют экстраполяционные методы. Они основаны на выявлении намечающихся тенденций рудно-магматической, рудно-метасоматической, рудной зональности в пределах изученных частей рудоносных структур. Количественный анализ рудной зональности заключается в аппроксимации распределения концентраций показателей, их соотношений и линейных запасов рудных компонентов с поверхностями тренда и расчете этих величин за пределами разведанных контуров залежей. Методика позволяет автоматизировать расчеты с помощью ЭВМ. По компьютерным специальным программам выполняется оперативный подсчет ресурсов и запасов металлов и осуществляется локальный прогноз скрытого оруденения, а также уточняются контуры рудных тел по мере пополнения поисково-разведочных данных.

Методами тренд-анализа исходных данных учитывается влияние как закономерных, так и случайных составляющих. Свойство изучаемого объекта описывается случайным полем непрерывной скалярной переменной $U = f(x, y) + \varepsilon$, где $f(x, y)$ – функция координат пространства (тренд), ε – случайная переменная. Сущность тренд-анализа сводится к выявлению основной тенденции в изменении наблюдаемых значений изучаемых свойств и к их аппроксимации с помощью «поверхностей тренда», описывающих закономерные составляющие изменчивости признаков. Для целей аппроксимации используются различные функции пространственных координат, подбираемых по методу наименьших квадратов. Простейшим способом аппроксимации является сглаживание скользящим окном, которое используется при горно-геологическом моделировании. К более сложным способам тренд-анализа относятся сглаживание с помощью различных линейных преобразований, способ скользящей корреляции значений исследуемых свойств в пределах площадок трансформации и способ аппроксимации эмпирических данных с помощью ортогональных полиномов различных степеней, тригонометрических полиномов, уравнения Лапласа и других сложных функций пространственных координат, требующих использования ЭВМ. Даже наиболее сложные методы тренд-анализа не обеспечивают достоверных и объективных решений, поскольку их результаты зависят от геометрии сети наблюдений, размеров элементарных площадок и других исходных условий проведения тренд-анализа.

Выделение и количественная оценка координированных и случайных составляющих геологических, геофизических и геохимических полей могут выполняться способами последовательной геометризации признака с помощью скользящего среднего. Операцию вычисления среднего значения признака в окне надо рассмат-

ривать как его измерение таким методом, у которого область влияния замера соответствует площади окна. Тогда смещение с перекрытием менее половины линейного размера окна обеспечивает прямолинейную интерполяцию признака между расчетными точками. Предельный размер окна определяется минимальным числом входящих в выборку точек. Минимальным оказывается такое число точек, начиная с которого среднее квадратическое отклонение средней оценки не изменяется – обычно не более 20–26. Максимальный размер палетки зависит от размеров элементов неоднородности. Размер окна должен составлять 0,7 размера минимального сечения геометризующего объекта, а форма окна должна быть подобной его форме. Тогда количественная характеристика закономерности признана на изучаемом уровне строения определяется поверхностью тренда, а ее случайная составляющая – разностями между значениями в точках наблюдений и на поверхности тренда.

В строении геофизических и геохимических полей должны выделяться те элементы их неоднородности, которые уверенно выявляются сетью принятой густоты наблюдений. Выбор оптимальной геометрии статистического окна возможен путем перебора вариантов сглаживания с учетом априорных представлений о вероятных параметрах элементов неоднородности. Выявление этих параметров возможно с помощью двумерных автокорреляционных функций или спектральных плотностей дисперсий изучаемых признаков, наблюдаемых в двух взаимно ортогональных направлениях. По данным геологических, геофизических, геохимических съемок возможна последовательная геометризация потенциально рудоносных площадей от рудных районов до рудных узлов, рудных полей, месторождений и их участков для решения задач количественной оценки признаков интенсивности и экстенсивности оруденения в различных масштабах. Путем сопоставления площадных продуктивностей потенциальных рудных районов, рудных узлов, рудных полей, месторождений, показателей закономерной и случайной изменчивости содержаний полезных компонентов в их объемах (с учетом степени телескопирования элементов неоднородности различных структурных уровней) можно получать объективные характеристики для количественных оценок перспектив рудоносности изучаемых территорий.

Имитационное моделирование как метод системного анализа, основан в основном на теории вычислительных систем, теории вероятностей, статистике. Метод использует фактическую информацию, а также методы анализов той области науки, для решения которой он применяется. Такие системы позволяют автоматизировать основные процессы выработки и обоснования вариантов решения о наиболее целесообразных направлениях геологических исследований на различных стадиях геологоразведочного процесса. Это, в конечном итоге, должно определить эффективность исследований, как в рамках отдельных стадий, так и всего цикла геологических работ в целом. Имитационное моделирование используют преимущественно как обучающие системы, вырабатывающие у обучающегося основы понимания рациональной методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Более полную информацию по имитационному моделированию можно найти в книгах Н.Н. Шатагина и В.И. Щеглова [1989] и Ю.Г. Шестакова [1984 г.].

2.3.10. Комплексные и многофакторные модели рудных месторождений

Такие модели составляются на основе прогнозно-поисковых, разведочных признаков, отражающих закономерности проявления рудных месторождений в гео-

логических, геофизических, минералого-геохимических полях. Наличие большой информационной базы по разведанным месторождениям полезных ископаемых позволяет создавать их модели как эталоны по главным промышленным типам. Разрабатывать на их основе новые методики оценки. Главной задачей таких разработок является обеспечение сопоставления каждого вновь оцениваемого объекта с моделью-эталоном по основным подсчетным характеристикам; определение степени сходства на количественной основе; корректировка размещения выработок по мере получения результатов и подсчет ресурсов и запасов по программам ЭВМ. Определение градиентов изменений морфологии рудных тел и содержаниями полезных компонентов должно служить основой для рационального размещения поисковых и разведочных выработок. В моделях месторождений сочетаются информационные (совокупность подсчетных параметров), функциональные (логические методы формирования модели) и технологические элементы. Они представляют собой сочетания системных и программных методов.

Моделирование месторождений полезных ископаемых становится неотъемлемой составляющей общего геологоразведочного процесса, выполняется от ранних до конечных этапов и стадий. На каждой стадии должно проводиться сопоставление моделей с эталонами, оценка надежности построений, корректировка базовой и конкретной модели. Выполняется комплекс исследований по геолого-экономической оценке объекта. При геолого-экономической оценке модель месторождения выступает в качестве главного конечного результата геологоразведочного процесса. Взаимосвязи «запасы – кондиции» в многовариантном выражении составляют основу таких моделей. Фактически они представляют частный случай многофакторных моделей, но определяют качественные характеристики конечного продукта геологоразведочного процесса.

Двухуровневая система моделирования включает геологические модели рудного поля и конкретные структурно-вещественные, минералого-геохимические модели рудных месторождений. Они составляются на анализе региональных критериев прогнозирования, степени представительности эталонных объектов. Модели рудных месторождений основаны на локальных признаках, типах их связей на количественной основе. В первом случае подсчитываются прогнозные ресурсы по категории P_2 , а во втором – ресурсы категории P_1 и запасы C_2 .

Прогнозно-поисковые модели – это систематизированные обобщенные описания месторождений в форме совокупности разноранговых соподчиненных критериев и признаков. Такие модели позволяют выбирать рациональные комплексы геологических, геофизических, геохимических прогнозно-поисковых критериев и признаков для разных типов месторождений. Это позволяет оптимизировать затраты на производство соответствующих прогнозных и поисковых работ по выявлению прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 и частично запасов C_2 .

Для оценочных работ создаются детальные модели – *параметрические, морфометрические, концентрационные, градиентно-векторные*.

Параметрические модели рассматривают геологическое пространство, прилегающее к рудным телам. Выделяются надрудные, рудные, подрудные зоны – уровни единой рудно-магматической или рудно-метасоматической колонны. Например, в подрудном пространстве показывают собственно подрудные, подрудные фланговые и подрудные периферийные части. Рудовмещающая часть делится на собственно рудные и фланговые части. Такие модели отражают количественные

показатели геохимических, геофизических аномалий, которые фиксируют рудоносные структуры и рудные тела. Параметрические модели используют для прогноза, поисков промышленных месторождений и для оптимизации геометрии и плотности поисковых, оценочных наблюдений.

Морфометрические модели основаны на возможности сопоставления линейных характеристик (геометрических параметров) рудных тел: длины, ширины, мощности с выделением определенных морфологических типов. Используются планы изопахит или изображения рудных тел в изогипсах ограничивающих поверхностей. Такие модели предназначены для прогноза возможной протяженности рудных тел по единичным пересечениям выработками, а, следовательно, и для оптимизации размещения проектируемых профилей. Моделирование позволяет иногда выявлять природу и линейные характеристики рудовмещающих структур, а также оценивать ожидаемые масштабы рудных тел по ограниченной информации. Все это дает возможность оптимизировать оценочные выработки и число буровых скважин.

Градиентно-векторные модели в графической форме отражают распределение мощностей рудных залежей и содержаний металлов. Они позволяют выявлять направления и интенсивность изменения этих химических элементов в рудных телах и в окружающем минерализованном пространстве. Рассматриваемые типы моделей тесно связаны с морфометрическими и концентрационными моделями. Исходными данными для построения таких моделей являются планы изопахит, изоконцентрат (изограммов) рудных тел, а также разрезы с изоконцентратами главных и сопутствующих компонентов.

Дополнительную информацию по методам геологического прогнозирования можно получить из учебного пособия автора «Моделирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. Томск: изд-во ТПУ, 2008». В пособии приведены типовые примеры геологоструктурных, геолого-генетических, физико-геологических, статистических, геолого-математических, геохимических, физико-химических, изотопно-геохимических, термобарометрических моделей рудных полей, месторождений и рудообразующих процессов.

2.4. Методика поисковых работ на различных стадиях геологоразведочного процесса

Методика поисков полезных ископаемых включает методы поисков и последовательность их проведения в рудоносных площадях для выявления и предварительной оценки проявлений и месторождений полезных ископаемых. Основными признаками методов поисков служат характеристики геологических, минералогических, геохимических, геофизических аномалий, которые создаются полезными ископаемыми или их вмещающими структурами [Аристов, 1975]. Такие аномалии выявляют и оконтуривают путем изучения геологических, минералогических, геохимических и геофизических полей, характер которых связан с особенностями геологического строения изучаемого региона. Изучение полей и оконтуривание аномалий выполняется отдельными методами или их комплексом путем площадной съемки или маршрутными пересечениями. При этом поисковая сеть представляет собой совокупность точек наблюдений, выполненных тем или иным поисковым методом для выявления рудопроявлений, возможных промышленных месторождений полезных ископаемых или их признаков. Параметрами поисковой сети являются частота

наблюдений и их ориентировка. Расчет параметров поисковой сети производится в зависимости от особенностей геологического и геоморфологического строения конкретного участка, возможность нахождения ожидаемых промышленных объектов, масштаба поисковых работ и стадии их выполнения. В методике проектирования поисковой сети выделяется два направления: геологические и математическое. Геологическое направление основано на характере проявления элементов геологического и геоморфологического строения изучаемой площади. Математическое моделирование используется в тех случаях, когда объем таких данных весьма ограничен или некоторые из них (например, данные о размерах и характере размещения ожидаемых объектов) отсутствуют. Более подробные сведения о методике проектирования поисковой сети можно найти в учебном пособии В.В. Аристова [1975] и в соответствующих методических пособиях и инструкциях по геологической съемке и поискам полезных ископаемых.

2.4.1. Методика поисков, сопровождающих геологические съемки

Поиски, сопровождающие региональные геологические исследования, имеют задачи разработать предпосылки и признаки поискового прогнозирования всех видов полезных ископаемых и оконтурить рудоперспективные зоны и площади. Решение этих задач осуществляется путем изучения и оконтуривания геологических, минералогических, геохимических и геофизических полей и выделения на их фоне аномальных зон и площадей. В результате кроме геологических карт составляются карты полезных ископаемых и прогнозно-минерагенические схемы с выделением перспективных на полезные ископаемые структур, зон и площадей, рекомендованные для дальнейших поисковых работ.

Методика поисковых работ в этом случае определяется методикой геологической съемки масштабов 1:200000...1:50000, которые выполняются путем полистной, групповой геологической съемки, геологического дополнительного изучения, глубинного геологического картирования [Методическое руководство..., 1978; Прогнозно-металлогенические..., 1985]. Для регионов с различным геологическим строением и комплексами полезных ископаемых необходима специализация поисковых работ. Она включает определенный комплекс методов исследований, необходимый и достаточный для выявления перспектив данного района на характерные для него полезные ископаемые. В этот комплекс методов входят: дешифрирование аэрокосмофотоснимков, аэромагнитная, гравиметрическая и аэрогаммасъемка, сейсмическое профилирование, аэровизуальные и наземные геологические наблюдения, геохимические съемки со шлиховым опробованием аллювиальных отложений. Также изучаются обломки, валуны, гальки в рыхлых отложениях. Первоначально выполняются аэрометоды и наземные геофизические наблюдения, затем все поисковые работы, сопровождающие геологическую съемку.

Основными средствами ускорения работ и увеличения их эффективности при групповой геологической съемке являются использование вертолетов, самолетов для десантных геологосъемочных и поисковых работ. Используются широко аэрокосмофотоснимки. Проводятся детализационные геологосъемочные и поисковые работы с применением наземных геофизических и геохимических методов на перспективных площадях.

Дешифрирование аэрокосмофотоснимков, геологические аэровизуальные и наземные наблюдения позволяют выявить поисковые критерии, прямые и косвен-

ные признаки всех возможных видов полезных ископаемых. Наиболее целесообразными методами геохимических поисков служит опробование коренных пород, рыхлого и растительного покрова, речных осадков, природных вод по сети поисковых наблюдений. Они обеспечивают выявление промышленно значимых тел полезного ископаемого. Шлиховые методы проводятся в районах, перспективных на скопление минералов, устойчивых в зоне окисления, например, золота, платиноидов, касситерита, тантало-ниобатов, ильменита, титаномагнетита, шеелита, вольфрамита, алмаза, корунда, шпинели и др. Геофизические методы – радиометрия, магнитометрия, электроразведка, гравиразведка, сейсморазведка позволяют решать три вида поисковых задач: 1) заверка геохимических аномалий, 2) детализация аномалий физических полей, выявленных аэрогеофизической съемкой, 3) поиски на участках рудоперспективных геологических структур, перекрытых рыхлыми отложениями, исключающих эффективное применение геохимических методов. Завершающим методом поисковых работ является проходка поверхностных горных выработок или буровых скважин для вскрытия геологических, геофизических, геохимических аномалий и оценки проявлений полезных ископаемых. Во всех скважинах выполняется геофизический и минералогический каротаж.

Выбор того или иного поискового метода или комплекса методов диктуется особенностями геологического и геоморфологического строения изучаемого региона.

2.4.2. Методика поисковых работ

Поисковые работы проводятся с целью выявления месторождений полезных ископаемых промышленного типа в пределах известных и потенциальных рудных полей и бассейнов. Учитывается весь комплекс полезных ископаемых, возможных на данной территории. Масштаб работ определяется размерами рудных полей, месторождений и сложностью геологического строения района (от 1:25000 до 1:5000). Поиски осуществляются на геологической основе этого масштаба с применением различных поисковых методов. В результате выполнения поисков должны быть выделены проявления полезных ископаемых, заслуживающие постановки оценочных работ.

Методика поисков определяется геологическими, ландшафтно-географическими и экономическими условиями перспективных площадей. Главными факторами при определении системы поисковых работ являются характер геологических и геофизических аномалий, которые могут создаваться ожидаемыми объектами поисков [В.В.Аристов, 1975]: геологические, минералогические, геофизические, геохимические. Поиски осуществляются геологическими, геофизическими, шлиховыми, обломочно-валунными, термобарогеохимическими, геохимическими методами с применением поверхностных горных выработок и скважин. Выполняется систематическое опробование. Обычно поиски выполняются несколькими методами. Под системой поисковых работ понимается совокупность главных и вспомогательных комплексов поисковых методов, с помощью которых можно обнаружить искомый объект.

В.В.Аристовым в основу поисковых работ положена группировка месторождений полезных ископаемых по характеру создаваемых ими аномалий:

I группа включает в себя месторождения, создающие отчетливые геологические и неотчетливые минералогические, геохимические и геофизические аномалии.

Она включает месторождения пьезооптического сырья, слюды, графита, магнетита, углей, огнеупоров, керамического сырья, стройматериалов

II группа включает месторождения, создающие отчетливые геологические, минералогические и геохимические аномалии. Сюда относятся россыпи золота, платиноидов, касситерита, ильменита, танталита-колумбита, месторождения лимонитовых, сидеритовых, марганцевых руд, силикатных руд никеля, фосфоритов, серы, солей, флюорита, асбеста, талька, корунда, низкотемпературные месторождения свинца и цинка, меди, сурьмы и ртути.

III группа включает месторождения, создающие отчетливые геологические и простые геофизические аномалии, которые можно выявить одним из геофизических методов. К этой группе относятся месторождения марганцевых руд, хромитов, урана, бора, каменных и бурых углей.

IV группа включает месторождения, создающие отчетливые сложные геофизические аномалии, выявление которых требует применения нескольких геофизических методов. К ним относятся месторождения бокситов, богатых железных руд КМА.

V группа включает месторождения, создающие отчетливые комплексные геологические, минералогические, геохимические и геофизические аномалии – погребенные аллювиальные россыпи золота, платиноидов, касситерита, танталита-колумбита, эндогенные месторождения никеля, меди, свинца и цинка, олова, вольфрама, молибдена, бериллия, редких земель, ниобия, тантала, золота, платины, серебра.

Например, для объектов первой группы месторождений система поисковых работ включает основной комплекс методов – геологические, горно-буровые; вспомогательный комплекс методов – минералогические, геохимические, геофизические. Наличие не отчетливых аномалий для данной группы проявлений обуславливает применение горно-буровых методов при вскрытии геологических аномалий, наиболее перспективных для обнаружения рудопроявлений. Применение геофизических методов используется для расшифровки геологических структур, а геохимические исследования обычно не дают положительных результатов из-за неотчетливо проявленных аномалий, связанных с телами полезных ископаемых. Лишь усовершенствованные дорогостоящие геофизические и геохимические методы позволяют иногда обнаруживать слабые и неотчетливые аномалии, создаваемые такими объектами.

Для проявлений второй группы месторождений главный комплекс методов включает геологические, минералогические, геохимические, горно-буровые, а вспомогательные – геофизические. Выявление отчетливых минералогических, геохимических аномалий шлиховым и литохимическим, гидрохимическим или атмосферическим методами позволяет резко сократить площади поисковых работ и ограничить объемы горно-буровых работ.

Для объектов третьей группы месторождений рекомендуемая система поисковых работ содержит геологические, один из геофизических методов, горно-буровые, а вспомогательные методы – другие геофизические, геохимические и минералогические методы. Обнаружение одним из геофизических методов аномалий локализует процесс проведения поисковых работ и тем самым увеличивает их эффективность.

Наличие отчетливых и сложных геофизических аномалий для объектов четвертой группы месторождений требует применения нескольких геофизических методов. Поэтому система поисковых работ будет включать: главные методы поисков

– комплекс геофизических методов, геологические, горно-буровые, а вспомогательные – минералогические и геохимические методы. При этом при выполнении ВЭЗ необходима сеть наблюдений в 4000×1000 или 2000×500 м, профильной магнитной съемки 2000×100 м, гравиметрической съемки – 4000×1000 или 2000×1000 м. На площадях сложного строения геологическая съемка масштаба 1:50000 сопровождается симметричным электропрофилированием по сети 500×100 -50 м и магнитной съемкой по сети 500×50 м.

На участках проявления пятой группы месторождений с отчетливыми комплексными аномалиями поиски выполняются полным комплексом методов, который позволяет выявлять сложные комплексные аномалии и сосредоточивать на них горно-буровые работы. Применительно к тому или иному типу месторождений полезных ископаемых приходится разрабатывать свой рациональный комплекс методов, ориентируясь на характер возможных аномалий, создаваемых ожидаемым объектом. Плотность сети наблюдений будет определяться минимальными размерами предполагаемых промышленно интересных рудопроявлений и обычно не превышает 2000×500 или 500×50 м.

В общем комплексе поисковых методов, используемых для выявления месторождений рассмотренных групп, значение каждого выбираемого метода неодинаково. Применительно к тому или иному типу месторождений разных групп и внутри каждой группы необходимо разрабатывать свой рациональный комплекс методов, ориентируясь на характер тех аномалий, которые могут быть созданы ожидаемым объектом. Примеры систем поисковых работ, применяемых при поисках месторождений разных групп, приведены в учебном пособии В.В.Аристова [1975]. В результате составляются геолого-поисковые карты масштабов 1:25000...1:5000, разрезы и подсчитываются прогнозные ресурсы полезного ископаемого по категориям P_2 , реже P_1 .

2.4.3. Методика оценочных работ

Оценочные работы представляют собой комплекс геолого-структурных, физических, геохимических исследований на выявленном рудопроявлении, осуществляемых с применением горных выработок и скважин. Задачей данной стадии работ является перспективная оценка проявлений полезных ископаемых или аномалий различного типа для выявления объектов, заслуживающих постановки разведки или для отбраковки неперспективных проявлений. В результате подсчитываются прогнозные ресурсы по категории P_1 , частично запасы промышленной категории C_2 .

При решении таких задач используется комплекс геологических, минералогических, химических и геофизических методов исследований, результаты которых оформляются на геологических и прогнозных картах масштабов 1:10000...1:2000. Определяющее значение при оценочных работах приобретают горно-буровые методы, которые позволяют подтвердить или опровергнуть первоначальный прогноз и оценить качественные и количественные показатели полезного ископаемого. Этим определяется необходимость разработки систем оценочных работ, рациональной сети пересечений, опробования полезных ископаемых и вмещающих их пород, а также рационального комплекса дополнительных методов, сопровождающих горно-буровые работы – геологической съемки, минералогических, геохимических, геофизических.

Системы оценочных работ представляют собой:

- совокупность горных выработок (канав, шурфов, дудок, траншей) при незначительной мощности наносов – до 3 м;
- совокупность буровых скважин при мощности наносов свыше 5 м и скрытом залегании тел полезного ископаемого;
- сочетание горных выработок и буровых скважин при сложном рельефе участка и скрытом залегании тел полезного ископаемого

В зависимости от геологических и ландшафтных условий применяется система оценочных пересечений:

- система горизонтальных пересечений, осуществляемых канавами или траншеями, в более редких случаях штольнями (при наличии сложного горного рельефа);
- система вертикальных пересечений, осуществляемых вертикальными горными выработками – шурфами, дудками, в более редких случаях неглубокими шахтами (при значительном рыхлом покрове свыше 10 м);
- система вертикальных пересечений, осуществляемых буровыми скважинами – вертикальными или наклонными (при значительном рыхлом покрове свыше 10–30 м или при глубоком залегании скрытых рудных тел);
- система сочетания горизонтальных и вертикальных пересечений горным выработками и скважинами (при сложном горном рельефе и наличии скрытых тел полезных ископаемых, перекрытых рыхлым покровом).

Параметры сети поисково-оценочных наблюдений определяются следующими факторами: формой и размерами ожидаемых объектов, характером распределения полезных компонентов в телах полезных ископаемых, условиями залегания объектов (пологозалегające, крутопадающие, выходящие на поверхность, скрытые, погребенные или слепые). Параметры сети оценочных пересечений представляют собой среднее значение между параметрами сети поисковых работ и сети разведки. Поэтому в общем случае можно ориентироваться на параметры сети разведки с соответствующим ее разрежением в два раза. Параметры разведочной сети для месторождений определенных видов полезных ископаемых с учетом сложности их строения указываются в инструкциях по применению классификации запасов минерального сырья. Сеть оценочных пересечений рекомендуется проектировать с расчетом возможного ее использования и развития на последующих стадиях разведки данного объекта.

В.В.Аристовым [975] для целей поисково-оценочных работ предложена группировка проявлений полезных ископаемых, основанная на морфологии, условиях залегания, форме тел полезных ископаемых в горизонтальном срезе, на распределении полезных компонентов (минералов или элементов) в телах полезных ископаемых – непрерывное сплошное, прерывистое вкрапленное, гнездовое и прожилковое. Для каждой из выделенных групп могут намечаться определенные системы оценочных работ с учетом индивидуального подхода к конкретным проявлениям различных видов полезных ископаемых (табл. 14).

Для первой группы проявлений полезных ископаемых оценочные пересечения выполняются вертикальными шурфами или скважинами по квадратной или прямоугольной сети с расстояниями между скважинами 1000×1000 м или 1600×40 м.

Глубина пересечений определяется глубиной залегания верхней кромки ожидаемого объекта. Например, погребенные древние прибрежно-морские россыпи выявляют и оконтуривают системой вертикальных скважин по прямоугольной сети, параметры которой определяются размерами минералогической аномалии,

Группировка проявлений полезных ископаемых для определения плотности сети при поисково-оценочных работах (по В.В.Аристову с изменениями)

Группа проявлений	Морфология проявлений ПИ и условия их залегания	Форма тел ПИ в горизонтальном срезе	Распределение основных компонентов в телах полезных ископаемых								
			Непрерывное (сплошное)			Прерывистое (вкрапленное, прожилковое, гнездовое)					
			Экзогенные		Эндогенные		Экзогенные		Эндогенные		
Проявления	Поисково-оценочная сеть, м	Проявления	Поисково-оценочная сеть, м	Проявления	Поисково-оценочная сеть, м	Проявления	Поисково-оценочная сеть, м				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
I	Пластовые и плащеобразные тела горизонтально или пологозалегающие	Изометричная, эллиптическая, реже линейная	Уголь, горючие сланцы, Фосфориты, бокситы, строительные материалы, руды железа и марганца	1000×1000 500×1000	6	7	8	1600–2000 между профилями и 40-100 м между скважинами	10	Cu-Ni руды в базитах-гипербазитах, Nb руды (в щелочных нефелиновых сиенитах, лауавритах)	320×320 и 80×80, 600×400
			Уголь, горючие сланцы, фосфориты, соли, бокситы, руды железа и марганца	500×1000 200×400	Медноколчеданные, железные руды в кварцитах	200×400	Россыпи Au, Pt, C, SnO ₂ , FeTiO ₃ , Ta-Ni, силикатно-никелевые руды	Медистые песчаники, низкотемпературные проявления в карбонатных породах	200-400, 50-100		
II	Пластовые и линзообразные тела наклонно залегающие и крутопадающие	Линейная, иногда эллиптическая	Уголь, горючие сланцы, фосфориты, соли, бокситы, руды железа и марганца	500×1000 200×400	Медноколчеданные, железные руды в кварцитах	200×400					

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
III	Жилые тела, рудные зоны наклонно-залегающие и крутопадающие	Линейная			Барит, сидерит, кварц технический (для плавления)	Канавы через 100 м, скважины через 200-400 м			Золота, олова, вольфрама, молибдена, лития, бериллия, тантала, свинца, цинка, меди	Канавы через 100 м, скважины через 200-400 м
IV	Штокообразные тела и массивы крутопадающие, реже наклонно-залегающие	Изометричная, эллиптическая	Соли		Граниты, габбро-сиениты, базальты, как строительные материалы				Меднопорфировые, оловянные, вольфрамовые, молибденовые штокверки, карбонаты с редкими металлами, алмазоносные кимберлиты	Шурфы 40×40, 100×100, скважины через 100-400 м
V	Трубообразные и гнездообразные тела со сложными условиями залегания	Изометричная, эллиптическая	Магнезиты	Канавы через 100-200м	Хромиты, платиновые руды в дунитах перидотитах	Канавы через 100 м, скважины через 100м	Силикатно-никелевые руды	Канавы через 50-100 м	Свинец, цинк в карбонатных породах, пьезо-сырье в камерных пегматитах или кальцит в базальтовых лавах (оптическое сырье)	Шурфы 50х50 м, скважины через 100-200 м

выявленной первыми скважинами на стадии поисков. Скрытый Талнахский медно-никеленосный массив габбро-долеритов был выявлен скважинами глубиной до 400–800 м. При этом оценочные скважины располагались по сети 600×400 м.

На проявлениях второй группы с непрерывным распределением полезных компонентов оценочные работы выполняют вначале путем проходки канав вкрест простирания выходов с расстоянием между выработками от 100 до 25 м. Геологическая съемка масштаба 1:25000...1:2000 нередко сопровождается геофизическими исследованиями. Затем осуществляют глубокие пересечения (100–300 м) буровыми скважинами с висячего бока залежи (пласта) по профилям с расстояниями 1000–500 м для углей и 400–200 м для других полезных ископаемых. Предварительно выполняется оконтуривание участков с различной концентрацией полезных компонентов литогеохимическими методами по сети наблюдений 100–50 и даже 10 м.

Для третьей группы проявлений, включающих рудные тела и зоны крутопадающие или наклонно залегающие, сложной морфологии и прерывистого распределения полезных компонентов, выполняется геологическая съемка масштабов 1:10000...1:5000, сопровождаемая геофизическими и геохимическими методами для выявления всех возможных аномалий. Затем осуществляется проходка магистральных и коротких канав вкрест простирания залежей через 100–10 м и глубокие пересечения скважинами через 400–200 м на глубину 100–300 м. Скважины закладывают в висячем боку рудных тел и зон. Схема оценочных работ на проявлениях четвертой группы полезных ископаемых с прерывистым распределением полезных компонентов намечается в такой последовательности:

- изучение поверхности участка шурфами по сети 100×100 – 40×40 м с геологической съемкой в масштабе 1:5000...1:2000;
- шлиховое или литогеохимическое опробование коренных пород во всех шурфах;
- глубокие оценочные пересечения вертикальными скважинами на глубину 100–300 м для вскрытия аномалий и рудных тел, расстояние между скважинами 400–200 м.

Для пятой группы проявлений полезных ископаемых, включающей трубкообразные и гнездовые тела со сложными условиями залегания, выходящие на эрозионную поверхность рудные тела вскрывают канавами, располагающимися крестом, а скрытые залежи выявляют и предварительно оконтуривают колонковыми скважинами на участках геофизических аномалий. Иногда для изучения характера распределения прерывистого оруденения на глубину проходят единичные подземные горные выработки.

Особенности методики оценочных работ рассмотрим на примере штокверковых месторождений меди, молибдена, вольфрама и олова [В.К.Павлов, и др., 1981г.]. Для подобных объектов ведущими являются магматические, структурные, рудно-метасоматические и геохимические факторы локализации оруденения, на основе которых разрабатываются геолого-генетические модели. Основными методами, выявляющими благоприятные для локализации штокверкового оруденения геологические факторы, служат геологическое картирование, гравиметрическая, магнитометрическая, электрометрическая съемки, шлихотрия, геохимические съемки по первичным и вторичным ореолам. Рациональное проведение работ этой стадии основано на геолого-генетическом и экономическом моделировании объекта, на использовании выявленных благоприятных геологических факторов и признаков што-

кверкового оруденения и оценочных кондиций, определяющих требования к минимально необходимому количеству ресурсов, запасов и качеству руд.

Рациональный комплекс методов поисково-оценочных работ устанавливается, исходя из сравнения целесообразности и эффективности применения отдельных методов для достижения цели стадии. При недостаточной изученности рудообразования с поверхности, не позволяющей построить модель объекта, в проекте должны предусматриваться соответствующие виды работ, которые обязательно опережают бурение глубоких скважин.

В комплекс таких работ включаются:

- геологическое картирование площади в масштабе 1:10000...1:2000;
- геохимические съемки по вторичным или первичным ореолам в том же масштабе для уточнения контуров оруденения, степени его эродированности по элементам-индикаторам и возможной глубины распространения руд;
- геофизические съемки – магнитометрия, электрометрия в зависимости от особенностей структур, минерального состава руд, метаморфизма и метасоматизма на изучаемых площадях;
- проходка канав, шурфов для прослеживания оруденения и опробования полезного ископаемого (предпочтение отдается магистральным канавам);
- бурение мелких скважин и проходка глубоких шурфов при наличии зоны окисления для оценки содержания полезных компонентов в первичных рудах;
- бурение глубоких скважин для оценки промышленного значения объекта; расстояния между скважинами зависят от размеров и формы принятой геологической модели объекта, а глубина их не превышает 300 м. Первоначально проходятся 3–5 скважин.

Обычно предусматривается бурение одной глубокой структурной скважины. Если устанавливается неподтверждение составленной модели, то планируется проходка скважин второго этапа бурения. Места их заложения определяются в процессе проведения оценочных работ. Таких скважин проходят 3–6. Рациональные расстояния между оценочными пересечениями колеблются от 100 до 400 м. По скважинам выделяются интервалы промышленных руд и определяются границы штокверка. Бортовое содержание металла принимается по аналогии с известными разведанными месторождениями региона. Выполняется оконтуривание изученной части штокверкового рудного тела в плане и на глубину. На геологическом плане и в разрезах отстраиваются контуры условного карьера. Поскольку при оценочных работах разведочными пересечениями оценивается лишь минимально необходимая часть от общих запасов, то отстраиваемый контур карьера не следует рассматривать как границы будущей отработки месторождения в целом. В контуре карьера подсчитываются запасы руды по категории C_2 , коэффициент рудоносности и вычисляется коэффициент вскрыши. Вводятся поправочные коэффициенты на изменения условий залегания и степени прерывистости оруденения по формуле:

$$C = C^P \cdot (Q) \cdot K_p^{\Pi} \cdot K_b^{\Pi}$$

где C – содержание полезного компонента по оценочным кондициям для конкретного рудопроявления; C^P – то же по местным оценочным кондициям; $K_p^{\Pi} \cdot K_b^{\Pi}$ – поправочные коэффициенты на величины коэффициентов рудоносности и вскрыши. По рассмотренному графику оценочных кондиций, используя данные о качестве руд, по результатам работ определяются ресурсы по категории P_1 и запасы категории C_2 .

Работы оценочной стадии после первого этапа бурения должны продолжаться, если выявленные ресурсы и запасы по своему количеству и качеству не отвечают минимальным требованиям промышленности, но есть перспективы распространения промышленных руд за пределы оконтуренной части штокверка или повышения степени рудоносности в пределах этого контура. Для этого проводятся дополнительно 1–3 колонковые скважины.

2.5. Методы количественной оценки и подсчета прогнозных ресурсов

2.5.1. Методы оценки прогнозных ресурсов

Сложность и разномасштабность количественного прогноза оруденения определили разнообразие методов оценки прогнозных ресурсов (табл. 15). Выбор конкретного комплекса методов зависит от следующих факторов: 1) уровня прогнозно-поисковых исследований (мелко-, средне- масштабные, крупномасштабные и локальные); 2) характера объекта прогноза и поисков; 3) наличие выявленных критериев и признаков оруденения.

Таблица 15

Методы оценки прогнозных ресурсов

Оценка прогнозных ресурсов	Уровень прогнозных исследований		
	Крупномасштабный	Детальный	Локальный
Методы экспертных оценок	+	+	+
Методы прямых расчетов	+	+	+
Методы экстраполяции:			
Собственно экстраполяции	+	+	+
Ближайшего блока			+
Тренд-анализа		+	+
Методы аналогии:			
Близкой аналогии	+	+	
Дальней аналогии	+		
Геохимические методы:			
По потокам рассеяния элементов	+		
По вторичным ореолам рассеяния элементов	+	+	
По первичным ореолам рассеяния элементов	+	+	+
Геофизические методы	+	+	+
Математическое моделирование	+	+	+

Методы экспертных оценок количества прогнозных ресурсов используются на различных уровнях исследований. В основе их находится получение оценки прогнозных ресурсов без строго доказательства путем интуитивного обобщения опыта, накопленного отдельными исследователями и его преломления с учетом современных геологических концепций, гипотез, теорий. Поскольку экспертная оценка прогнозных ресурсов проводится не всегда строго логически обоснованным и четко осознанным путем, этот подход имеет важное значение на ранних стадиях исследований, а также для анализа нестандартных ситуаций и объектов, когда формальные

способы оценки прогнозирования оказываются неэффективными или невозможными.

Недостатком методов является невоспроизводимость результатов. Среди экспертных методов различаются индивидуальные, когда оценка перспектив выполняется одним специалистом, и коллективные, когда экспертиза осуществляется группой лиц. В первом случае экспертизу проводит квалифицированный специалист, обладающий специальными и теоретическими знаниями. На основе имеющейся геологической информации он создает собственную интуитивную модель объекта и подсчитывает ресурсы. При групповых оценках прогнозируемых характеристик они могут иметь определенный разброс. Истинное значение их находится в пределах диапазона индивидуальных оценок. Наиболее распространенными коллективными методами являются метод «комиссий», «сценария», «дельфи» и «мозговой атаки». Они отличаются друг от друга порядком получения приемлемого для всех экспертов или большинства из них усредненного результата. Формула расчета прогнозных ресурсов Q имеет следующий вид:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где Q_i – оценка прогнозных ресурсов, данная i -м экспертом; n – число экспертов.

Методы прямых расчётов. Расчет прогнозных ресурсов этими методами проводят в тех случаях, когда есть возможность хотя бы предположительно установить параметры, доступные для расчёта по формуле:

$$Q = V \cdot D \cdot C,$$

где Q – прогнозные ресурсы, т; V – прогнозируемый или измеренный объём объекта, м^3 ; D – прогнозируемая или измеренная плотность пород, $\text{т}/\text{м}^3$; C – содержание полезного компонента на единицу массы, $\text{т}/\text{т}$ или $\text{г}/\text{т}$.

Тогда прогнозируемый объём полезного ископаемого вычисляется:

$$V = L_x \cdot L_y \cdot L_z \quad \text{или} \quad V = S \cdot H,$$

где L_x, L_y, L_z – прогнозируемая или измеренная протяженность оцениваемого объекта по простиранию L_x , падению L_y , мощности L_z ; S – площадь прогноза, H – глубина прогноза.

Произведение длины объекта по простиранию на длину по падению и на его мощность характеризует объём прямоугольного параллелепипеда, которым для упрощения заменяется объём действительного тела полезного ископаемого. На ранних стадиях работ объём полезного ископаемого определяется по правилу Гувера – оконтуривается тело на глубину по типу прямоугольника (на глубину $\frac{1}{2}$ расстояния глубины подсчетного блока) или треугольника (на полную глубину подсчета). Количество прогнозных ресурсов определяют по данным опробования руд, а если этих данных нет, то по аналогии с хорошо известным эталонным объектом.

При расчёте прогнозных ресурсов прямыми методами генетически однотипные месторождения и рудные тела разных классов крупности рассматривают в качестве геометрических и геохимических фигур подобия. Отношение линейных и площадных размеров которых характеризует коэффициент подобия

$$x = m_1 : m_2 = \sqrt{S_1 : S_2} = \sqrt[3]{Q_1 : Q_2},$$

где m_1 и m_2 – линейные размеры (длина или мощность), м; S_1 и S_2 – площади выхода объекта на дневную поверхность, м²; Q_1 и Q_2 – ресурсы металла, т. Полные ресурсы металла в таких объектах составят: $Q_1 = x^3 \cdot Q_2$,

При наличии эталонного объекта с известными запасами-ресурсами и оценок уровня эрозионного среза у оцениваемых объектов в метрике эталона подсчёт прогнозных ресурсов с учётом геометрического подобия является более объективным.

Методы экстраполяции широко используются для оценок прогнозных ресурсов на всех стадиях прогнозных исследований. В их основе заложен принцип приближённого распространения закономерностей, полученных в одной части объекта на другую, неизученную часть. Считается, что показатели мало отличаются или не отличаются вовсе принятым в эталоне. Для новых участков допускается аналогичная рудонасыщенность прогнозируемых зон эталонным.

На стадиях крупномасштабных и детальных исследований используется метод собственно экстраполяции, базирующийся на распространении основных параметров, достоверно установленных на изученных (эталонных) объектах с известными запасами-ресурсами руды, на оцениваемые площади, смежные с эталонными. Для оценки прогнозных ресурсов используется удельная продуктивность эталонного месторождения D_3 , рассчитанная путём определения количества руды (или металла) на 1 м² при углубке в 1 м среднего горизонтального сечения эталонного объекта. Расчёт прогнозных ресурсов выполняют по методическим разработкам ВИЭМС по формуле

$$Q_n = S_n \cdot D_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot H_n,$$

где Q_n – прогнозные ресурсы металла (или руды) оцениваемой площади, т; S_n – оцениваемая площадь за вычетом площади эталона, м²; K_1 – коэффициент сходства (подобия), учитывает сопоставимость суммы критериев и признаков перспективной площади и эталона; K_2 – коэффициент рудоносности; K_3 – коэффициент надёжности прогноза; H_n – экстраполируемая глубина распространения оруденения, м.

Коэффициент сходства определяется на основе анализа критериев и признаков по программам распознавания образов или упрощено по формуле

$$\hat{E}_1 = 1 - \frac{N - 1}{n},$$

где N – суммарный вес признаков на эталонном объекте; n – суммарный вес признаков на оцениваемом объекте.

Суммы весов значений критериев и признаков перспективной и эталонной площадей вычисляются как средние величины из попавших в данные площади элементарных прогнозных ячеек. Коэффициент надёжности прогноза K_3 принимается от 0,3 до 0,8 в зависимости от достоверности геологических данных.

С помощью коэффициента рудоносности K_2 учитывают дискретность распределения оруденения на площади

$$K_2 = \frac{S_3}{S_n},$$

где S_3 – площадь эталона, на которой подсчитаны запасы-ресурсы; S_n – оцениваемая площадь, по которой определяют прогнозные ресурсы.

Удельная продуктивность эталона (месторождения) определяют по формуле

$$P_3 = \frac{Q_y}{S_y \cdot H_y},$$

где Q_3 – запасы-ресурсы металла (или руды) по эталону (месторождению), т; S_3 – площадь выхода оруденелых пород эталона, м²; H_3 – глубина подсчёта запасов, м.

При локальном прогнозе оруденения подсчёт прогнозных ресурсов методом *ближайшего блока* предусматривается непосредственное распространение параметров оруденения эталонного объекта (с подсчётом запасов) на прогнозируемую прилегающую к нему площадь.

Метод тренд-анализа широко используется при локальном прогнозировании на глубоко вскрытых месторождениях. В его основе лежит выявление тенденций изменения прогнозируемых подсчётных параметров (мощность рудных тел, содержание, продуктивность, протяжённость) на хорошо изученной части объекта и распространении этих данных с учётом выявляемых закономерностей на соседние слабо изученные участки. Оценка границ размещения рудного объекта и его параметров могут производиться аналитически или графически в изолиниях значений признака.

Методы аналогии. При крупномасштабном и детальном прогнозировании для количественной оценки ресурсов используется метод близкой аналогии. Этим методом оцениваются ресурсы площади без эталонного объекта, но при наличии такового на других перспективных участках изучаемой территории. Расчёты проводятся на основе удельной продуктивности эталонной площади. Эта площадь непосредственно прилегает к эталонному месторождению.

Ресурсы определяют для горизонтального слоя толщиной 1 м на площади по формуле

$$P_n = \frac{Q_n}{S_n \cdot H_n}$$

где P_n – удельная продуктивность эталонной площади, т/м³; Q_n – прогнозные ресурсы эталонной площади, подсчитанные методом экстраполяции, либо другим способом, т; S_n – эталонная площадь, м²; H_n – глубина, на которую распространены ресурсы по эталонной площади, м.

Расчёт прогнозных ресурсов перспективных участков Q_x производится по формуле

$$Q_x = S_x \cdot P_n \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot H_x,$$

где S_x – площадь перспективного участка, м²; P_n – удельная продуктивность эталонной площади; n_1 – коэффициент подобия (сходства) перспективного участка с эталонной площадью; n_2 – принятый коэффициент надёжности прогноза (от 0,3 до 0,8); H_x – глубина прогнозирования.

Метод *дальней аналогии* используется при отсутствии аналогов в пределах рудного поля или рудного узла. В качестве эталонов выступают объекты (рудные поля, месторождения) однотипных минерагенических поясов и провинций.

Оценка прогнозных ресурсов по геохимическим данным. Применяется на различных стадиях прогнозных исследований. Расчёты выполняются согласно инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений [1983 г.]. В основе расчетов лежат данные по потокам рассеяния. Используют, как правило, при среднемасштабных и региональных работах, а также на стадии крупномасштабного прогнозирования (при наличии сведений о генетическом типе оруденения, по находкам коренных выходов, рудных свалов, по данным опробования руд).

Продуктивность потока рассеяния определяется по формуле

$$p_x^I = S_x (C_x^I - C_o^I),$$

где C_x^1 и \tilde{N}_0^1 – соответственно найденное в данной точке местное и фоновое содержание металла в аллювии; S_x – площадь бассейна денудации.

А.П. Соловов вывел общую формулу для расчета прогнозных ресурсов:

$$Q' = \frac{1}{K^1 \cdot K} \sum_{i=1}^m P_i^1 \cdot \frac{1}{40} H,$$

где P_i^1 – устойчивые значения продуктивности отдельных потоков рассеяния по смежным руслам рек, дренирующих данный участок; K^1 , K – местные коэффициенты соответствия между продуктивностью потоков рассеяния и вторичных ореолов K^1 и количеством металла в коренном оруденении и вторичном ореоле K ; H – глубина подсчета прогнозных ресурсов. Деление на 40 отвечает переходу от квадратных метропроцентов ($m^2 \cdot \%$) к тоннам металла.

Основой для подсчета прогнозных ресурсов по первичным и вторичным ореолам рассеяния являются моноэлементные карты и планы.

Площадная продуктивность ореола определяется по формуле

$$P = \sum_{i=1}^m S_i \cdot \bar{C}_i - S_i \cdot C_\phi,$$

где $S_i = S_i - S_{i+1}$ – разнос площадей между соседними изолиниями; \bar{C}_i – среднее геометрическое содержание металла между значениями i -й и $(i+1)$ -й изолиниями ($\bar{C}_i = \sqrt{C_i \cdot C_{i+1}}$); C_ϕ – фоновое содержание металла.

Для всех ореолов, по которым осуществляется подсчет ресурсов, число аномальных проб должно превышать 10 (минимальное допустимое количество для достоверной оценки). Общая формула для расчета ожидаемых прогнозных ресурсов имеет вид:

$$Q = \frac{1}{K} \cdot \frac{P}{40} \cdot H,$$

где P – площадная продуктивность аномалии; H – глубина подсчета прогнозных ресурсов, м; K – поправочный коэффициент соответствия, рассчитанный на месторождениях-эталонах. Он составляется отдельно по первичным и вторичным ореолам.

Для вторичных ореолов

$$K = \frac{P}{P_{D0}},$$

где P_{D0} – площадная продуктивность рудного поля.

Глубина подсчета прогнозных ресурсов выбирается по уровню эрозионного среза объектов на основе выявленных показателей геохимической зональности эталонного месторождения. Количественная оценка выявляемого по геохимическим первичным ореолам производится на основе изучения морфологии, параметров и зональности рудных тел.

А.П. Солововым [1985] предложена такая схема оценки и отбраковки выявляемой рудной минерализации непромышленного типа. По результатам анализов литогеохимических проб строят графики содержаний элементов. Изолинии содержаний элементов на геохимических картах проводят через модули 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100... или 1, 10, 100, 1000... Распределение содержаний рудных элементов в диффузионных и инфильтрационных ореолах обычно подчиняются экспоненциальной зависимости

$$C_x = C_o^{-\lambda x} + C_\phi,$$

где C_x – содержание элемента на расстоянии x от точки с начальной концентрацией C_o ; $1/\lambda$ – коэффициент подвижности элемента, в метрах от центра зоны к ее периферии, для диффузионных ореолов и вверх по восстанию рудного тела для фильтрационных. Оценивая величину миграционной подвижности элемента $1/\lambda$ для надрудных инфильтрационных ореолов, можно рассчитать глубину до уровня с промышленным содержанием металла в рудах.

При построении в полулогарифмическом масштабе координат Lg, C_x, x график содержаний рудного элемента $C_x = f(x)$ приобретает линейный характер. При этом величина $1/\lambda$ пропорциональна тангенсу угла α , образованного осредняющей прямой с осью абсцисс $1/\lambda = K \cdot Ctga$, где K – коэффициент, учитывающий соотношения масштабов по осям координат $K = 0,434 \cdot y$, где y – принятый по оси ординат модуль десятичных логарифмов содержаний элементов, выраженный в линейной мере оси абсцисс.

Линейную продуктивность M , т.е. количество металла в м·% при постоянном шаге опробования определяют по формуле

$$\dot{I} = x \left(\sum_1^n C_x - n \cdot C_o \right),$$

где C_x – содержание элемента в пробах; C_ϕ – фоновое содержание элемента, n – количество аномальных точек опробования, включенных в подсчет. При неравномерном шаге опробования линейную продуктивность M определяют по такой формуле

$$M = \sum_1^n \left(\frac{l_x + l - l_x - l}{2} \right) \cdot (C_x - 2a \cdot C_o)$$

где l_x – абсцисса точки опробования с содержанием металла C_x .

При оценке геохимических аномалий и прогнозе оруденения на глубину важное место занимает изучение закономерностей распределения элементов в зоне. Совокупность геохимических различий между сечениями зоны можно выразить с помощью геохимического коэффициента n -го порядка V_n . Этот показатель представляет собой дробь, числитель которой образуется произведением продуктивностей (или средних содержаний) элементов, находящихся в дефиците, а знаменатель – произведение тех же величин для элементов, находящихся в избытке. В этом случае количественной мерой различия между сравниваемыми уровнями служит соотношение V_A/V_B ($V_A > V_B$), именуемое решающей силой геохимического показателя. Отыскание геохимических показателей, характеризующих различные уровни сечений рудной зоны, монотонно меняющихся на всем интервале, определяются по специальным программам на ЭВМ.

При геохимически надежном характере зональности можно выбрать $n = 10 \dots 15$ геохимических показателей для оценки непромышленных зон рудной минерализации: $\bar{Z} = \pm S/\sqrt{n}$, где \bar{Z} – средняя оценка уровня таксированного оруденения; S – стандартное отклонение отдельных оценок; n – число различных V -и использованных для оценки.

Р.В. Панфилов, В.В. Иванов [1982 г.] отмечают, что для прогнозной оценки рудоносности локальных площадей необходимо выяснить долю рудных элементов, концентрирующихся в форме месторождения от количества элементов, участвовавших в процессе геохимической миграции. Геохимическими исследованиями уста-

новлена устойчивая связь между концентрированной (учтенные запасы-ресурсы в известных месторождениях РК) и рассеянной (геохимические ресурсы в окружающих породах Q_p) формами нахождения элемента. Эта связь выражается через коэффициент накопления

$$K_n = \frac{RK}{Q_p},$$

где $Q_p = C \cdot S \cdot h \cdot p$; C – среднее содержание компонента; S – площадь рудного объекта; h – мощность его; p – удельный вес руды.

По данным K_n элемента рассчитывают возможные ресурсы в оцениваемых структурах по формуле $R = K_n \cdot Q_p$. Прогнозные ресурсы R_n определяют как разность между возможными общими ресурсами R и запасами, учтенными на известных месторождениях R_n .

2.5.2. Критерии геолого-экономической оценки потенциальных месторождений

На основе анализа геологических факторов и учета технико-экономических требований выделяются объекты различного ранга. При детальном и локальном прогнозировании такими объектами являются месторождения или рудные поля с несколькими однотипными месторождениями. Для них определяются основные оценочные параметры: ресурсы категорий P_2 и P_1 и возможно запасы C_2 и C_1 . По этим данным месторождение может быть отнесено к крупным, средним или мелким с богатыми, рядовыми или бедными рудами. Появляется возможность расширения минерально-сырьевой базы конкретного региона в определенной географо-экономической обстановке. На основе прогнозных ресурсов может быть получено только весьма ориентировочное представление о возможной промышленной значимости месторождения. Для окончательного решения вопроса необходимо провести дальнейшие геологоразведочные работы вплоть до разведки. Решение о передаче месторождения в эксплуатацию обычно принимается по результатам разведки объекта с подсчетом запасов на основе разработанных в технико-экономическом обосновании (ТЭО) постоянных кондиций к качеству и количеству сырья. Этому предшествует оценка объекта на стадии оценочных работ после проведения поисковых исследований на основе временных кондиций, разработанных в технико-экономическом докладе (ТЭД). Количественная и качественная оценка параметров оруденения на всех стадиях геологоразведочного процесса имеет различную степень достоверности или обоснованности, что отражается на отнесении их к различным категориям ресурсов и запасов. Однако сами по себе получаемые цифровые параметры отдельно взятого объекта ещё не дают полного представления о его хозяйственной значимости. Только его сравнение с другими рудными объектами того же минерального сырья, учёт состояния разведанных запасов и потребностей хозяйства страны в нём позволяет выяснить действительную промышленную ценность рассматриваемого объекта.

Для сравнительной оценки необходимо знать минимально допустимые значения основных оценочных параметров сырья, при которых объект может быть отнесён к промышленно перспективным. Такими параметрами при детальном и локальном прогнозировании оказываются среднее содержание полезного компонента, ресурсы и запасы руды, горно-геологические условия, определяющие выбор открытой

или подземной отработки сырья, географо-экономические условия, осложняющие освоение прогнозируемых минеральных ресурсов.

Параметры браковочных кондиций устанавливаются по результатам технико-экономического анализа работы действующих горнодобывающих предприятий и состояния минерально-сырьевой базы страны и отдельных регионов.

Результаты анализа периодически обобщают и освещают в специальных документах страны и в Интернете. В этих материалах для каждого вида минерального сырья даются браковочные кондиции в зависимости от геолого-промышленного типа месторождения и предполагаемого способа отработки. Приводятся значения поправочных коэффициентов на географо-экономические условия, которые учитываются путём повышения требований к качеству минерального сырья. В конечном счёте геолого-экономическая оценка (ГЭО) может представляться в табличном варианте (табл. 16).

Таблица 16

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов

Наименование объекта и его геолого-промышленный тип	Характеристика ресурсов оцениваемого объекта			Параметры браковочных кондиций				Заключение по геолого-экономической оценке объекта
	Ресурсы руд, млн. т. или т	Содержание полезного компонента, % (г/т)	Способ добычи	Ресурсы руд, млн. т. или т	Содержание полезного компонента, % (г/т)	Поправочный коэффициент	Содержание полезного компонента с учетом поправочного коэффициента, %	
Месторождение А колчеданного типа	32	4,9	Подземный	25	4	1,2	4,8	Соответствует требованиям
Месторождение Б стратиформного типа	150	1,3	Открытый	120	1,2	1,2	1,44	Не соответствует по содержанию п.к.
Месторождение В жильного типа	2,5	9,0	Подземный	3	1,0	1,2	8,4	Не соответствует по ресурсам

В приведенных примерах месторождение А отвечает параметрам; месторождение Б, несмотря на высокое содержание полезного компонента и большие ресурсы, оценивается отрицательно в связи с неблагоприятными географо-экономическими условиями; месторождение В при весьма богатых рудах оценивается по количеству ресурсов.

При наличии многих оцениваемых объектов такое сравнение позволяет установить очерёдность постановки дальнейших более детальных геологоразведочных работ на прогнозируемых площадях. Сотрудники ВИМС предлагают рассчитывать браковочные кондиции исходя из равенства извлекаемой продукции, то есть принципа бесприбыльно-безубыточной деятельности предприятий. Для расчёта рекомен-

дуются использовать стандартную формулу для определения минимально-промышленного содержания компонента $C_{мп}$:

$$C_{и} = \frac{Z}{\ddot{O} \cdot E \cdot t \cdot (1 - \delta)},$$

где Z – затраты на добычу и переработку единицы минерального сырья, тыс.руб; C – цена единицы конечного продукта, тыс. руб.; $Ио$ – коэффициент извлечения металла, доли ед.; P – коэффициент разубоживания при добыче, доли ед.

За основу принимается модель с типичными для данного промышленного типа характеристиками, нормированными на горно-геологические и географо-экономические условия. Поэтому при оценке объектов, отличающихся от «нормализованных» условий, принимаются поправочные коэффициенты.

Было рекомендовано этот принцип «бесприбыльно-безубыточной» деятельности горных предприятий применять только к прогнозируемым объектам с прогнозными ресурсами категории P_3 , а для объектов с ресурсами P_2 и P_1 предусматривать рентабельность предприятий. При этом минимально-промышленное содержание предложено увеличивать на величину нормативной прибыли для окупаемости капитальных вложений, выражающихся величиной

$$E_n \cdot K_{уд},$$

где E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, доли ед.; $K_{уд}$ – удельные капитальные затраты в промышленное строительство в расчёте на 1 т готовой продукции, руб. [Методика геолого-экономической переоценки... 1996].

Основной задачей последующих оценочных работ является отбраковка обнаруженных проявлений и определение промышленной значимости отдельных объектов. Ресурсы оцениваются по категории P_1 , возможных запасов C_2 , оконтуренных выработками и возможно категории C_1 . Рекомендуется использовать методику оценки резервных месторождений.

При оценке эффективности освоения месторождений требуется соизмерять разновременные затраты и показатели путём дисконтирования (приведения) их к базису времени – началу строительства горнодобывающего предприятия путём умножения на коэффициент дисконтирования

$$a_t = \frac{1}{(1 + E)^t},$$

где t – число лет; E – норма дисконтирования, рекомендуется от 12 до 20% в зависимости от вида полезного ископаемого.

В методическом указании [Методическое руководство..., 1986] приводятся показатели эффективности освоения потенциальных месторождений.

При региональном геологическом изучении недр объектами прогноза являются потенциально перспективные территории – металлогенические пояса, провинции, зоны, рудные узлы, рудные районы, где определяются прогнозные ресурсы категории P_3 . Эти ресурсы имеют положительную оценку, если комплекс геологических факторов свидетельствует о возможности открытия на территории прогноза промышленно значимых месторождений. Перспективность ресурсов определяется по параметрам возможных месторождений, отвечающих требованиям к промышленным объектам.

Прямые геолого-экономические расчёты тогда не применяются. Параметры минимально значимых месторождений устанавливаются на основе оценочных кондиций.

Экономическая оценка прогнозных ресурсов категории P_2 осуществляется по аналогии с разведанным и оцененным для данных экономических условий месторождением по укрупненным технико-экономическим расчётам для прогнозируемого объекта. Учитывается промышленный тип, возможный масштаб, качество руд, способ будущей отработки и географо-экономические условия региона.

Для этого используются браковочные (оценочные) кондиции. Браковочные кондиции составляются применительно к конкретным промышленным типам месторождений. Они выражают минимальные требования промышленности к количеству и качеству сырья. Браковочные кондиции могут представляться в виде графиков, разграничивающих ресурсы и содержания компонента.

Браковочные кондиции по достоверности и точности параметров существенно отличаются от временных и постоянных кондиций, применяемых на стадии разведки. Они играют роль граничного условия при оценке новых объектов (рудных полей, месторождений) на ранних стадиях общего геологоразведочного процесса при обосновании отбраковки рудопроявлений непромышленного значения от промышленно интересных.

2.5.3. Прогнозные ресурсы – важнейший фактор рациональных поисковых оценочных и разведочных работ

Прогнозно-минерагенические и прогнозно-поисковые исследования в общей схеме геологоразведочного процесса занимают строго определенное положение – они завершают работы одних стадий и определяют целесообразность открытия работ следующих стадий. Выявляемые прогнозные ресурсы, определяющие потенциальную рудоносность площадей различных уровней в количественном выражении, позволяют ранжировать прогнозируемые структуры по степени их перспективности и масштабу ожидаемого оруденения. Определяют очередность и виды дальнейших геологоразведочных работ, необходимых для реализации прогнозов.

Прогнозные ресурсы категории P_3 служат базой для планирования крупномасштабных геологических съемок и поисков с целью обнаружения рудоперспективных участков, рудопроявлений и оценки их потенциальной продуктивности. Прогнозные ресурсы категории P_2 являются основой для составления проекта на проведение поисковых и оценочных работ в пределах наиболее перспективных и первоочередных для промышленного освоения участков. Прогнозные ресурсы категории P_1 , оцененных на стадии оценочных работ, считаются подготовленным геологическим резервом для обоснованного проведения объектов разведки и пообъектного планирования прироста запасов категорий C_2 и C_1 . На разведываемых и разведанных месторождениях – это база для прироста запасов промышленных категорий C_1 , В и А, для строительства горнодобывающих предприятий.

Следовательно, прогнозные ресурсы являются важнейшим фактором управления прогнозно-поисковыми работами и для рациональных методов разведки и геолого-промышленной оценки месторождений полезных ископаемых.

Вопросы для самопроверки второй части

1. Цель и задачи курса "Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых".
2. Поясните краткую историю возникновения поисково-разведочного дела в России, поисков и прогноза?
3. Приведите наиболее распространенные систематики месторождений полезных ископаемых для целей геологического прогноза и поисков.
4. Какие причины обусловили создание стадийности геологоразведочного процесса на твердые полезные ископаемые?
5. Перечислите стадии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые.
6. Какие объекты поисков различаются на разных стадиях геологоразведочного процесса?
7. Что понимается под поисковыми критериями месторождений полезных ископаемых?
8. Охарактеризуйте стратиграфические, литолого-фациальные, магматические, минералого-геохимические, структурные, формационные и геоморфологические предпосылки поисков и прогнозирования.
9. Что такое поисковые признаки промышленного оруденения и какова их роль при поисках и прогнозировании?
10. Перечислите прямые и косвенные признаки оруденения.
11. Поясните особенности гипергенного преобразования различных типов руд и влияние устойчивости рудных минералов на оценку полезного ископаемого по выходам.
12. Роль первичных и вторичных ореолов и потоков рассеяния минералов и элементов при поисках месторождений полезных ископаемых.
13. Поясните значение геофизических аномалий, термобарогеохимических ореолов, ботанических, биогеохимических признаков и археологических данных при поисках месторождений полезных ископаемых.
14. Какие факторы влияют на условия проведения поисковых работ?
15. Раскройте структурно-геологические региональные условия, влияющие на выбор и ведение поисковых методов.
16. Как влияют геоморфологические условия на выбор наиболее эффективных поисковых работ?
17. Поясните влияние ландшафтно-климатических факторов на выбор наиболее эффективных поисковых работ.
18. Охарактеризуйте роль наносов при поисках месторождений полезных ископаемых.
19. Какие виды аэрокосмических методов наиболее эффективны для поисков полезных ископаемых?
20. Охарактеризуйте геологические методы поисков.
21. Покажите различия обломочно-речного и валунно-ледникового методов поисков и условия их применения.
22. Каким образом используются результаты шлихового метода поисков для прогнозно-поисковых целей?
23. В каких случаях применяется протоочно-шлиховой метод поисков месторождений полезных ископаемых?
24. Охарактеризуйте литохимический метод поисков и его возможности.

25. В чем сущность метода поисков по донным осадкам и потокам рассеяния полезной минерализации?
26. Поясните особенности гидрохимического метода поисков рудных месторождений.
27. В каких случаях применяется биогеохимический метод поисков? Поясните его возможности в зависимости от природных условий.
28. В чем сущность атмогеохимических методов поисков месторождений различных полезных ископаемых?
29. В каких случаях используется газортутный метод поисков полезных ископаемых?
30. Роль ядерно-физических исследований при прогнозно-поисковых работах.
31. Как влияют факторы жизнедеятельности человека на применение геохимических методов поисков?
32. На чем основаны термобарогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых?
33. В чем суть геофизических методов поисков месторождений?
34. В каких случаях применяются горно-буровые методы поисков месторождений полезных ископаемых?
35. Охарактеризуйте особенности проведения подводных методов поисков.
36. Раскройте особенности методики морских поисковых работ.
37. Какие факторы влияют на выбор рационального комплекса поисковых методов?
38. Приведите примеры рациональных комплексов поисковых методов для оценки основных групп рудных месторождений.
39. Какие факторы влияют на выбор рационального комплекса поисковых методов?
40. Роль моделирования при прогнозно-поисковых работах и комплексированию разных методов.
41. В чем заключаются принципы моделирования рудоносных площадей и месторождений?
42. В чем сущность геолого-математического моделирования?
43. Охарактеризуйте метод горно-геометрического моделирования тел полезных ископаемых.
44. В чем заключается метод тренд-анализа при геологическом моделировании рудных объектов?
45. Поясните сущность метода имитационного моделирования рудных объектов.
46. В каких случаях применяется геолого-структурное моделирование?
47. Что отражают собой геолого-генетические модели рудных объектов?
48. Какие принципы положены в основу современных методов поисков рудных объектов?
49. Охарактеризуйте методику поисков, сопровождающих геологические съемки.
50. В чем заключается методика поисковых работ на рудные полезные ископаемые?
51. Дайте классификацию групп месторождений полезных ископаемых по характеру создаваемых ими аномалий и поясните особенности поисков объектов каждой группы.
52. Охарактеризуйте особенности методики оценочных работ на различные полезные ископаемые.
53. Приведите примеры оценочных работ для штокверковых рудных месторождений.

ЧАСТЬ 3

ОСНОВЫ ОПРОБОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Итогом прогнозно-поисковых работ является выявление и оценка промышленного месторождения полезных ископаемых. Промышленная оценка выявляемого полезного ископаемого осуществляется путем его опробования на всех стадиях геологоразведочного процесса. При этом опробованию полезных ископаемых уделяется исключительное внимание, поскольку окончательная оценка выявляемого рудопроявления полностью зависит от качества выполненного опробования. Поэтому в третьей части учебника приводятся краткие сведения о требованиях к качеству полезного ископаемого, рассматриваются задачи и виды опробования, рациональные способы отбора проб, способы определения качества без отбора проб и вопросы контроля опробования.

В заключительной части учебника обсуждаются принципы формирования оптимальных прогнозно-поисковых комплексов, геолого-экономическая эффективность прогнозно-поисковых и оценочных работ, их организация и проектирование.

3.1. Понятия о качестве полезного ископаемого

Свойства полезных ископаемых, определяющие промышленную ценность, пути и возможности использования их в народном хозяйстве, объединяются под общим понятием – качество полезного ископаемого. Показатели качества специфичны для каждого вида минерального сырья. К ним относятся химический и минеральный состав полезного ископаемого, его текстурно-структурные, физические и технологические свойства.

Важнейшей характеристикой качества преобладающего числа видов минерального сырья является его химический состав. Чем больше содержание металла в руде, тем выше ее качество. На многих месторождениях по содержанию металла в породах оконтуриваются рудные тела, а также выделяются в них промышленные сорта руд. Химические элементы, входящие в состав руд, разделяются на главные компоненты (определяют промышленную ценность месторождения, контуры рудных тел и сортов руд) и попутные (оказывают влияние на качество руд). Среди компонентов руд различают полезные и вредные. Например, в железных рудах полезным компонентом является железо, а вредным – сера и фосфор. При высоком содержании вредных компонентов для их удаления приходится менять технологию переработки руд. Поэтому богатую серой железную руду предварительно подвергают обжигу (агломерации) для удаления серы. Ценные попутные компоненты руд разделяют на две группы: *образующие собственные минералы*, которые могут быть выделены в концентрат путем обогащения; *входящие в главные минералы руд* в виде изоморфных и других примесей и извлекающихся только при металлургической переработке руд (рассеянные элементы руд – ванадий в магнетитовых; золото, серебро,

палладий, кадмий, индий, германий, галлий, висмут, теллур и др. в полиметаллических).

Наряду с общим (валовым) химическим составом руды для многих полезных ископаемых большое значение имеет фазовый состав компонентов. Фазовый состав показывает долю ценного компонента в руде, связанного с отдельными минералами или их группами. Определение фазового состава позволяет предсказать некоторые технологические свойства руды и вероятный процент извлечения из нее ценных компонентов. Так, например, из полуокисленных полиметаллических руд по обычной технологической схеме извлекается только сульфидная часть меди, цинка и свинца, а из железистых кварцитов выгодно извлекать железо, связанное преимущественно в виде магнетита и гематита.

Минеральный состав полезного ископаемого в одних случаях дополняет сведения о химическом составе руд, а в других – является главным показателем их качества (россыпи). По содержанию ценных минералов можно оконтурить рудные тела и подсчитать их запасы. По минеральному составу можно установить форму нахождения компонентов в руде, баланс их распределения между минералами, подсказать вероятную схему переработки руд. Иногда руды одинакового химического состава резко отличаются по минеральному составу и требуют различных схем переработки. Например, магнетитовые кварциты могут быть обогащены магнитной сепарацией, а гематитовые кварциты того же химического состава – флотацией или восстановлением обжигом с последующей магнитной сепарацией.

Текстуры и структуры руд активно влияют на их обогатимость. Большое значение имеет размер зерен минералов и их агрегатов, а также срастания минералов. Чем крупнее зерна и их сростки, тем лучше обогащается руда. Некоторые весьма тонкозернистые руды не подвергаются обогащению вообще («упорные» бокситы, фосфориты). Плохо обогащаются медные и полиметаллические руды колломорфной или метаколлоидной текстуры.

Руда и слагающие ее минералы обладают разнообразными физическими свойствами. Для нас важны те свойства, которые так или иначе влияют на поиски, разведку, добычу и переработку руды или определяют область применения полезного ископаемого. Почти всегда приходится определять объемную массу, пористость и влажность руды как показатели, необходимые для подсчета запасов. Определяются прочностные свойства руды, категория буримости пород и руд, коэффициент разрыхления, кусковатость руды и др. Для рыхлых полезных ископаемых изучается гранулометрический состав, особенно рудовмещающих пород и руд. Для асбеста важно определять длину и гибкость волокон, для слюды – площадь пластинок и электроизоляционные свойства, для оптического сырья – размер моноблоков и отсутствие дефектов в кристаллах.

Только некоторые виды полезных ископаемых находят непосредственное применение в народном хозяйстве. Обычно они подвергаются той или иной переработке с использованием в промышленности конечного продукта. Так, например, из полиметаллических руд получают несколько концентратов (медный, свинцовый, цинковый), из которых извлекается вся гамма основных и сопутствующих металлов.

Схема переработки руд определяется ее химическим и минералогическим составом, текстурно-структурными особенностями, иногда физическими свойствами, а также уровнем развития перерабатывающей промышленности. Практически для каждого вида минерального сырья применяется «своя» схема переработки. Более того, иногда на одном месторождении имеются промышленные руды, требующие

различных схем переработки. Например, на скарново-магнетитовых месторождениях самые богатые и «чистые» руды идут в плавку, богатые сернистые руды предварительно подвергаются обжигу (агломерации), а бедные руды – обогащению методом магнитной сепарации.

Технологические свойства переработки полезного ископаемого характеризуются различными показателями. Наиболее важные из них – выход готовой продукции, качество (состав) готовой продукции, извлечение ценных компонентов. Для обеспечения надежности этих показателей необходимо классифицировать руды на природные типы (отражают минеральный состав, текстуры и структуры руд) и промышленные сорта руд (выделяют согласно кондициям преимущественно по химическому составу). Дело в том, что руды, относящиеся к различным промышленным сортам (нередко и природным типам), обладают различными технологическими свойствами, т.е. перерабатываются по разным технологическим схемам. Отсюда вытекает необходимость опробования руд по природным типам и промышленным сортам, раздельного подсчета их запасов, учета и добычи.

3.2. Задачи и виды опробования

Главная задача опробования – изучение качества полезного ископаемого. Объектами изучения являются конкретные части (точки) рудной зоны, природные типы или промышленные сорта руд, блоки подсчета запасов, рудные тела и месторождения в целом. Опробование – единственный надежный способ выявления минерального и химического состава руд, геохимической специализации пород, зональности рудных тел и месторождений, технических и технологических свойств полезного ископаемого. При отсутствии четких геологических контактов рудоносных образований с вмещающими породами результаты опробования используются для оконтуривания рудных тел, выявления их морфологии и внутреннего строения. Результаты опробования служат основой подсчета ресурсов и запасов полезного ископаемого.

В зависимости от целевого назначения различают несколько видов опробования:

- геохимическое опробование коренных пород и рыхлых отложений;
- шлиховое опробование;
- рядовое опробование полезных ископаемых и вмещающих пород в естественном залегании;
- техническое опробование;
- технологическое опробование;
- товарное опробование горной массы и полезных ископаемых в рыхлом перемещенном состоянии в отвалах и транспортных емкостях.

Геохимическое опробование проводится при специализированных геологических и геохимических съемках, поисках и разведке полезных ископаемых. Целью опробования является обнаружение и оконтуривание ореолов рассеяния элементов-индикаторов и спутников оруденения в коренных породах и рыхлых отложениях вокруг рудных скоплений различных масштабов.

Шлиховое опробование рыхлых отложений с последующей промывкой для получения концентратов тяжелых минералов (шлихов) проводится в процессе геологической съемки и поисковых работ с целью выявления и оконтуривания потоков и ореолов рассеяния полезных рудных минералов, устойчивых в зоне гипергенеза.

Рядовому опробованию подвергаются все поисковые, разведочные и эксплуатационные выработки и скважины. Оно является основным видом опробования и проводится в массовом масштабе для систематического изучения качества полезного ископаемого и оконтуривания руд. В пробах определяется содержание полезных и вредных компонентов или полезных минералов. В первом случае рядовое опробование называется химическим, а во втором – минералогическим. Минералогические методы опробования являются ведущими при разведке россыпей.

Техническое опробование проводится для изучения физических и технических свойств полезных ископаемых – объемной массы, влажности, разрыхляемости, крепости, буримости, кусковатости руд и др. При разведке некоторых видов полезных ископаемых (например, стройматериалов) техническое опробование проводится в массовом масштабе для оценки свойств минерального сырья (качество и размеры кристаллов слюды, длина и прочность асбестового волокна, полируемость и блоковость строительного камня и т.д.).

В последние годы рядовое и техническое опробование с помощью материальных проб все чаще заменяется **ядерно-геофизическим опробованием**, основанном на измерениях естественной или наведенной радиоактивности. Ядерно-геофизическими методами определяются вещественный состав, плотность, влажность, пористость и другие свойства пород и руд.

Техническое опробование проводится для изучения технологических свойств полезного ископаемого в лабораторных, полупромышленных и производственных условиях. На основе этих исследований последовательно вырабатывается оптимальная технологическая схема переработки руд.

Товарное опробование проводится для определения качества добытых масс полезного ископаемого и продуктов его переработки (концентратов) в транспортных емкостях (машинах, вагонах и др.). Такое опробование осуществляется также на разных этапах процесса разведки и эксплуатации месторождений – в вагонетках и бункерах, в отвалах горных работ, в хвостах обогатительных фабрик, шлаках металлургического передела.

При поисковых работах используются в основном геохимическое, шлиховое, рядовое (химическое и минералогическое) и ядерно-геофизическое опробование.

3.3. Рациональные способы отбора проб

Способы отбора проб многообразны и определяются, прежде всего, видом разведочных выработок и состоянием материала, подлежащего опробованию. К первой группе относятся способы отбора проб из естественных обнажений и горных выработок – штуфной, точечный, бороздовый, шпуровой, задирковый и валовый. Во вторую группу объединяются способы взятия проб из скважины – керновый и шламовый, а в третью – способы пробоотбора из отбитой руды и получаемых из нее концентратов (горстьевой, вычерпывания).

Штуфной способ широко применяется при геохимических поисках по первичным ореолам рассеяния, при разведке для изучения минерального состава руд, петрографических особенностей вмещающих пород и определения физических свойств полезного ископаемого (объемный вес массы, пористость, влажность, прочность и др.). В пробу отбираются типичные штуфы или несколько штуфов массой 0,2–2 кг из целика или отбитой руды. Типичность штуфов определяется визуально.

Для сложных залежей штуфы берутся из каждого типа руды пропорционально их распространенности. Достоинством способа является высокая оперативность и производительность, недостатком – непригодность его для изучения химизма руды и оконтуривания рудных тел (сказывается субъективность отбора штуфов).

Точечный способ более достоверен. Материал пробы составляется из кусочков размером 1,5–3 см и массой 10–50 г, взятых в ряде точек из руды или минерализованной породы в целике. Точки взятия частичных проб располагаются по определенной системе, отвечающей характеру распределения полезного компонента: по квадратной сети (при одинаковом распределении минералов в плоскости) или прямоугольной (при неодинаковом распределении по двум направлениям плоскости). Число частных проб (точек) колеблется от 10 до 20 и более, расстояние между ними от 10×10 – 50×50 см при квадратной сети и 10×20 – 20×40 см при прямоугольной. Чем сильнее изменчивость, тем чаще необходимо брать частичные пробы. Общая масса пробы пропорциональна числу и массе частичных проб и меняется от 0,2 до 2 кг. Достоверность точечного способа взятия проб прямо пропорциональна числу частичных проб. Наиболее надежные результаты он обеспечивает при изучении массивных, вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд с незакономерным распределением мономинеральных агрегатов. Точечный способ обладает высокой производительностью и немногим уступает по достоверности бороздovому способу.

Бороздovый способ наиболее широко применяется при опробовании горных выработок, особенно с максимальной изменчивостью состава руд по мощности рудного тела. Нельзя применять метод борозды при неравномерном пятнистом и гнездовом распределении рудных минералов, а также при весьма малой мощности рудных тел (10–20 см). Существует несколько вариантов взятия бороздovых проб: борозда правильного прямоугольного сечения, пунктирная и объемная борозда. Во всех случаях борозды ориентируются по мощности рудного тела или близко к ней. Наиболее представительным является опробование правильной прямоугольной бороздой. Сечение борозды зависит от изменчивости оруденения, крепости пород, мощности рудных тел и меняется от 2×5 см до 3×8 см при мощности рудных тел более 2,5 м и 2×10 и 3×12 см при мощности менее 1,5 м. При сложном строении рудных тел пробы берутся по секциям борозды длиной 1–5 м. Разработаны варианты механических пробоотборников. Пунктирная борозда имеет меньшую достоверность, но вполне достаточную для полезных ископаемых с равномерным распределением минералов. Материал в пробу берется из отдельных точек на расстоянии 2–3 см, иногда неравномерно. Диаметр кусочков частичных проб 1–2 см, реже до 3 см. Масса материала с 1 м борозды составляет 0,2–2 кг, обычно 1–1,5 кг. Способ весьма производителен, так как основан на скалывании кусочков руды.

Объемная борозда не имеет строго определенного сечения. Название ее связано с тем, что с каждой единицы длины пробы берется равный объем материала, например, с каждых 10 см берется 100–300 см³ руды. Принятый объем строго соблюдается и контролируется мерным сосудом с водой. Способ обладает высокой производительностью, но не пригоден в случае растворимых руд или руд с глинистым материалом.

Шпуровый метод взятия проб в принципе не отличается от бороздovого способа. Материалом пробы служит буровая пыль или шлам при бурении с промывкой. Шпуровый способ наиболее пригоден для взятия проб в рудных телах большой мощности, которые не вскрываются полностью горными выработками. Шпуры, как

и борозды, располагаются в направлении наибольшей изменчивости оруденения. Метод имеет большие преимущества (механизация опробования, высокая производительность и др.), но его нельзя использовать при опробовании тел малой мощности.

Задирковый способ используется при опробовании маломощных рудных тел (до 15–20 см) с весьма неравномерным распределением полезных компонентов. Пробу берут задиркой – снимают слой руды мощностью 3–10 см, редко 20 см. Представительность пробы обеспечивается выравниванием поверхности забоя перед опробованием и строгим соблюдением глубины задирки на всей площади. Способ трудоемкий и используется редко, иногда применяется как контрольный.

Валовый способ взятия проб применяется при крайне неравномерном распределении полезных компонентов в трех измерениях, а также при необходимости взятия проб большой массы (например, для технологических испытаний). При валовом способе в пробу идет вся рудная масса, отбитая в процессе проходки горной выработки. Масса валовых проб составляет 1,5–5 т, а иногда десятки – тысячи тонн. Валовый способ наиболее широко используется при опробовании месторождений слюд, оптического сырья, поделочных и драгоценных камней, а также руд благородных металлов.

Горстьевой способ – вариант точечного опробования отбитой руды или рудной массы. Он заключается во взятии проб с поверхности отвалов, рудной массы из вагонеток, самосвалов по квадратной или прямоугольной сети, которая задается мысленно или с помощью веревочной сетки. Стороны квадрата равны 20–50 см, а прямоугольника 20–40 см на 50–100 см. Число частичных проб от 10 до 50. Минимальное число частичных проб берется из вагонеток по способу конверта в пяти точках. Объем отдельной частичной пробы 20–200 см³, масса 500–600 г. Для обеспечения представительности опробования требуется, чтобы соотношение материала различного качества в пробе и опробуемой руде было одинаковым. Нарушение этого правила приводит к систематическим ошибкам. Горстьевой способ высоко производителен, но применение его не позволяет оконтурить промышленные сорта руд и опробовать их отдельно.

Способ вычерпывания применяется при опробовании отвалов, хвостов обогатительных фабрик и др. В отличие от горстьевого способа, частичные пробы в этом случае берутся не с поверхности отвала, а на всю его глубину, что позволяет устранить влияние сегрегации рудного материала на погрешность опробования. Отбор частичных проб по сетке, разбитой на поверхности отвала, производится желонкой, специальным пробоотборником, трубой и шупом. Наиболее удобен диаметр трубы 50 мм. Сетка частичных проб такая же, как и в горстьевом способе, но может быть и реже. При опробовании отвалов значительных размеров для получения частичных проб малых размеров в узлах сетки можно проходить шурфы или буровые скважины.

Отбор проб при колонковом бурении является наиболее распространенным способом. Материалом пробы служит керн, керн и шлам или только шлам. Наиболее достоверные результаты опробования получают при взятии проб из керна. Достоверность опробования по керну зависит от полноты его выхода и степени неравномерности распределения минералов в руде. Особо опасно для опробования избирательное истирание керна, когда хрупкие или мягкие рудные минералы, особенно слагающие прожилки, прослойки или цемент брекчий, разрушаются и выносятся в виде буровой мути, что резко искажает состав руды и кривой пробы. Избиратель-

ное истирание зерна происходит на месторождениях молибдена, ртути, сурьмы, углей, вызывая систематические погрешности опробования. Пробы из зерна отбирают при выходе его более 70%. Зерно может использоваться для химического, геохимического, минералогического и технологического опробования. В пробу рядовую (секционную) берется половина, реже четвертая часть или весь зерно. Половинки зерна получают раскалыванием его на зерноколе вдоль оси. Оставшаяся от химического опробования часть зерна используется для минералогического изучения руд и сохраняется как дубликат.

К взятию проб из шлама при колонковом бурении прибегают редко – при низком выходе или потере зерна. В этом случае принимают меры к полному улавливанию шлама. Иногда для опробования руд используют зерно и шлам. В пределах интервала опробования зерно и шлам собирают в отдельные пробы и анализируют. Среднее содержание в этом случае рассчитывают по формуле К.Л. Пожарицкого:

$$C = C_k \frac{l}{L} \cdot \frac{d^2}{D^2} + C_{ш} \left(1 - \frac{l}{L} \cdot \frac{d^2}{D^2}\right),$$

где C – среднее содержание компонента в интервале опробования, %; C_k – содержание компонента в зерне, %; $C_{ш}$ – содержание компонента в шламе, %; D – диаметр скважины, мм; d – длина интервала, м; L – диаметр зерна, мм; l – длина зерна, м.

Для повышения достоверности опробования при низком выходе зерна применяются геофизические методы (картаж скважин), которые позволяют уточнить положение и контакты рудного тела, а иногда и состав руды.

Пробы, предназначенные для химического анализа, требуют обработки. Цель ее состоит в том, чтобы сократить и измельчить пробу до массы и крупности, необходимых для анализа. Конечная масса пробы для рядового химического анализа составляет 50–100, редко 200 г. Для спектрального анализа необходимо 5–20 г, а для пробирного – 0,05–0,5 кг. Материал пробы должен быть измельчен до 0,1 мм, для некоторых руд до 0,5–1 мм. Обработка пробы состоит в чередовании операций измельчения, перемешивания и сокращения, выполняемых по определенной схеме, обеспечивающей сохранение представительности пробы в конечном материале.

Принципы, схемы и техника обработки проб рассматриваются в курсе «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых». Химический состав руд определяется химическим, спектральным, пробирным и ядерно-геофизическими методами. Минеральный состав руд изучается визуально, с помощью бинокулярной лупы, микроскопа и расчетным способом, основанным на закономерной связи между минеральным и химическим составом полезного ископаемого.

3.4. Виды проб и их размещение

Среди проб различаются прежде всего рядовые, групповые, минералогические, мономинеральные и технологические.

Рядовые пробы предназначены для определения содержания главных компонентов и для оконтуривания рудных тел. Рядовые пробы всегда линейные и ориентированы вкост простирания тел или близко к ним по направлению наибольшей изменчивости оруденения. Они отбираются в горной выработке бороздовым, шпуровым и другими способами, а также по зерну скважин и в естественных обнажениях. Длина рядовых проб зависит от строения рудного тела. Каждая рядовая проба

характеризует рудное тело в конкретном сечении или составляющие его природные и промышленные типы руд. Длина проб колеблется от 0,5 до 10 м, обычно 1–5 м. Рядовые пробы используются для подсчета главных компонентов руд.

Групповые пробы предназначены для определения второстепенных компонентов. Их не отбирают, а составляют из дубликатов рядовых проб. Групповые пробы характеризуют промышленные сорта руд в контуре рудного тела. Групповые пробы анализируют на главные и второстепенные компоненты. Они являются основой при подсчете запасов попутных компонентов.

Минералогические пробы позволяют изучать минеральный состав полезного ископаемого. В большей части месторождений в качестве минералогических проб изучаются шлифы и аншлифы. На некоторых месторождениях роль минералогических проб выполняют полированные штUFFы (пегматиты), шлихи (россыпи) и протоочки (золоторудные месторождения и др.). Изучение минералогических проб дает сведения о минеральном составе полезных компонентов в них, что позволяет прогнозировать технологические свойства руд.

Мономинеральные пробы позволяют установить состав главных минералов руд и выявлять их элементы-спутники. На их основе нередко подсчитываются запасы попутных элементов. В связи с этим важное значение приобретает представительность мономинеральных проб по типам руд и месторождению в целом.

Технологические пробы позволяют составить рациональную схему переработки руд и определять показатели передела (выход продукции, ее состав, извлечение компонентов, расход воды, энергии, реагентов и др.).

3.5. Изучение качества полезного ископаемого без отбора проб

В последнее время широко внедряются в практику приемы определения качества полезного ископаемого без отбора проб с использованием геофизических методов. Наиболее распространены магнитометрические и ядерно-физические методы.

Магнитометрические методы применимы в основном для изучения магнетитовых руд. Наиболее часто используются магнитный каротаж скважин, с помощью которого уточняют границы рудного тела и определяют среднее содержание магнетита (и железа) в интервале каротажа. Точность определения содержания магнетита таким способом составляет 5–20%, что ниже точности химического анализа.

Ядерно-физические методы заключаются в активации руд и горных пород различными видами излучений, создаваемых радиоактивными изотопами. В результате взаимодействия излучения с электронами или ядрами атомов происходят различные процессы, вызывающие ответное излучение, измеряя которое можно определить содержание химических элементов в руде или горной породе. К числу методов относятся гамма-гамма-метод (ГГМ), рентгенорадиометрический метод (РРМ), гамма-нейтронный метод (ГНМ) и метод ядерного гамма-резонанса (ЯНРМ). Наиболее разработанными ядерно-физическими методами опробования считаются радиометрические методы, основанные на измерении естественной радиоактивности руд, главным образом, гамма-излучения, возникающего при распаде радиоактивных элементов (урана, тория, калия).

3.6. Контроль опробования. Погрешности опробования

При проведении опробования возникают разнообразные технические погрешности, которые разделяются на случайные, систематические и промахи. Случайные погрешности в каждой определенной пробе имеют свой знак и величину. Они возникают по разным причинам и неустранимы по своей природе. При вычислении средних содержаний случайные погрешности в отдельных пробах взаимно компенсируются и поэтому влияние их на среднее невелико.

Систематические погрешности в отличие от случайных постоянны по знаку и величине в каждой пробе. При вычислении средних содержаний сохраняется их значение, что вносит существенную ошибку в подсчет запасов. Систематические погрешности обычно связаны с влиянием определенного фактора. Их можно выявить и устранить. Промахи в опробовании возникают при ошибках в нумерации проб, при описках в результатах анализов и пр. Их необходимо исключить переопробованием.

Процесс опробования состоит из трех операций: взятия, обработки и анализа проб. Погрешности возникают на каждой из этих операций. Погрешности взятия проб могут быть вызваны избирательным истиранием керна, потерей части материала пробы в виде пыли и шлама, засорения пробы; погрешности обработки проб возникают за счет потери части материала при дроблении и сокращении проб; погрешности анализа вызваны несовершенством технологии и ошибками аналитических работ. Погрешности эти по отдельной пробе суммируются:

$$\sigma_{\text{опр}} = \delta_{\text{вз}} + \delta_{\text{обр}} + \delta_{\text{ан}}.$$

При вычислении средних содержаний из серии проб систематические погрешности суммируются в соответствии с указанной формулой, а случайные – по законам сложения дисперсий независимых случайных величин:

$$\sigma_{\text{опр}}^2 = \sigma_{\text{вз}}^2 + \sigma_{\text{об}}^2 + \sigma_{\text{ан}}^2,$$

где $\sigma_{\text{опр}}^2$ – дисперсия случайной погрешности опробования в целом; $\sigma_{\text{вз}}^2$ – дисперсия погрешности взятия проб; $\sigma_{\text{об}}^2$ – то же, обработки проб; $\sigma_{\text{ан}}^2$ – то же, анализа проб.

Для обеспечения достоверности опробования необходим постоянный контроль погрешности. Задачи контроля опробования состоят в выявлении и устранении систематических погрешностей, выявления уровня и уменьшения случайных погрешностей. Обычно ограничиваются изучением погрешностей анализа (наиболее существенные по величине), но во многих случаях изучают погрешности опробования в целом.

Контроль опробования в целом

Изучение случайных погрешностей опробования осуществляется путем повторения опробования при условии равноточности наблюдений, что достигается одинаковым отбором, обработкой и анализом основных и контрольных проб. При соблюдении этих условий серия из 20-30 основных и контрольных проб дает возможность определить случайную погрешность опробования:

$$\delta_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{\sum(x-y)^2}{2n}},$$

где x – содержание в основных пробах; y – то же, в контрольных пробах; n – число контрольных проб (или основных).

На случайные погрешности опробования отсутствуют допуски. Но если они достигают 30–50% от среднего содержания (или от измеряемой величины), то целе-

сообразно выяснить на какой операции опробования они максимальны и, изменив условия опробования, попытаться снизить их уровень.

Для выявления систематических погрешностей контрольное опробование должно быть выполнено более достоверным способом, чем основное. Серия контрольных проб (не менее 20–30), дублирующих основные, позволяет оценить наличие систематической ошибки и ее величину. Критерием наличия ее служит выполнение неравенства

$$t = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{\delta_x^2 - \delta_y^2 - 2r\delta_x\delta_y}{n}}} \geq 3, \quad (1)$$

где \bar{x} – среднее содержание в основных пробах; \bar{y} – то же, в контрольных пробах; δ_x^2 и δ_y^2 – дисперсия содержаний; r – коэффициент корреляции между содержаниями; n – число контрольных проб.

Если систематическая ошибка установлена ($t \geq 3$), то величину ошибки можно оценить с помощью поправочного коэффициента $K = \bar{y}/\bar{x}$ или более точно с помощью уравнения регрессии:

$$y = \bar{y} + \frac{\delta_y}{\delta_x}(x - \bar{x}). \quad (2)$$

Обнаружив систематическую ошибку опробования, необходимо принять меры к ее устранению. Если это невозможно, то вводят поправку путем умножения содержания в основной пробе на поправочный коэффициент или с помощью вышеприведенного уравнения регрессии, которое позволяет пересчитать содержания в основных пробах \bar{x} на содержание в контрольных пробах \bar{y} .

Контроль химического анализа

Случайные ошибки химического анализа оцениваются с помощью внутреннего контроля. Число контрольных проб (не менее 20–30) должно составлять 3–10% от числа основных. Выполняются они в той же лаборатории, но зашифрованы.

Оценка случайной погрешности анализов выполняется по формуле:

$$\delta_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{\sum(x-y)^2}{2n}}.$$

Зная среднеквадратичную погрешность $\delta_{\text{опр}}$, можно определить относительную случайную погрешность химического анализа:

$$\tau_{\text{опр}} = \frac{2\tau_{\text{опр}}}{\bar{x} + \bar{y}} \cdot 100\%.$$

Величина допустимой относительной случайной погрешности регламентирована инструкцией ГКЗ. Если случайная погрешность выше допустимой, то результаты химанализов непригодны для подсчета запасов. Их надо переделать. Расчет систематической погрешности химических анализов ведется по формулам (1) и (2). Наличие систематической погрешности оценивается с помощью критерия $t \geq 3$ (формула 1), а величина ее с помощью уравнения регрессии (формула 2). В случае большой систематической ошибки или при конфликтной ситуации между основной и контрольной лабораториями анализы отправляют на арбитражный контроль, выполняемый специализированными лабораториями.

3.7. Принципы формирования оптимальных прогнозно-поисковых комплексов

Опытом изучения недр установлена рациональная последовательность постановки задач и достижения целей при производстве работ по прогнозу, поискам и оценке месторождений полезных ископаемых. Эта последовательность закреплена стадийным осуществлением геологоразведочного процесса. Применительно к каждому отрезку процесса исследований необходимо соблюдение принципа соответствия между стадиями работ и объектами поисков, которые эквивалентны прогнозно-металлогеническим единицам разного ранга – металлогеническим провинциям и зонам, потенциальным рудным районам, полям и перспективным участкам. На поздних стадиях геологоразведочного процесса объектами обнаружения являются месторождения и рудные тела. Все металлогенические объекты выявляются в результате проведения мелко-, средне-, крупномасштабных и детальных прогнозов, поисков, оценочных работ, разведки.

Объекты прогноза и оценки характеризуются набором свойственных им геологических признаков. Обнаружение этих признаков обеспечивается использованием определенных видов и методов работ. Тесная логическая увязка между видами, методами, стадиями и целью работ позволяет формировать оптимальные технологические схемы геологоразведочного процесса. Такие схемы называются прогнозно-поисковыми комплексами (ППК). Они базируются на современных достижениях в изучении месторождений и закономерностей их образования и размещения, т.е. на геолого-генетических основах прогноза и поисков. ППК разрабатываются на определенный вид полезного ископаемого и на конкретный геолого-промышленный тип месторождения. Каждой стадии геологоразведочного процесса соответствуют однотипные по структуре блоки ППК, а всему процессу – сумма сопряженных блоков.

Для формирования блоков ППК необходимо решение нескольких взаимосвязанных задач:

- 1) создание геологической модели объекта прогноза и поисков в форме набора элементов и признаков;
- 2) разделение признаков на главные, определяющие «лицо» объектов, и второстепенные;
- 3) оценка возможности уверенного, однозначного опознавания объекта по отдельным признакам и их сочетаниям;
- 4) оценка выявляемости признаков методами (сочетанием методов) с учетом их решающих возможностей;
- 5) формирование набора методов и последовательности их применения для надежного опознавания объектов прогноза.

В различных геологических обстановках объекты прогноза и поисков могут быть однозначно установлены некоторым количеством отработанных признаков их моделей. Не исключена, однако, ситуация, когда известных в настоящее время признаков и (или) полноты их изученности недостаточно для надежного прогноза и выявления конкретного объекта. В этом случае формулируется задача по доработке соответствующей модели. Вместе с тем, оптимизация блока ППК требует разделения методов на обязательные к применению, дублирующие и избыточные. Исключение

последних двух обеспечивает реализацию принципа минимально необходимого, но достаточного и формирование ограниченного, но эффективного набора методов для решения задач соответствующей стадии работ. Следует иметь в виду, что использование сокращенных вариантов для определенных частей прогнозных площадей не исключает необходимости реализации полных ППК на остальной площади. Отработка оптимальных соотношений признаков и объектов, методов и признаков, проведенная в каждом блоке ППК, позволяет создавать полные, основные его варианты. В настоящее время прогнозно-поисковые комплексы разработаны более чем до 20 видов минерального сырья и большого количества геолого-промышленных типов месторождений, в том числе применительно к конкретным геологическим обстановкам и регионам страны [Прогнозно-поисковые комплексы, 1984].

3.7.1. Последовательность выделения перспективных площадей

Как уже отмечалось, площади развития рудной минерализации разделяются на металлогенические зоны, рудные районы, рудные поля, перспективные участки. При выделении и прогнозе металлогенических зон используют формационные основы специальной металлогении. Месторождения того или иного геолого-промышленного типа входят в определенные геологические формации. Геологические формации по установленной и предполагаемой роли в рудогенезе разделяются А.И. Кривцовым на рудовмещающие (РВФ), рудоносные (РНФ), рудогенерирующие (РГФ) и рудообразующие (РОФ). Рудовмещающие формации отвечают относительно пассивной среде рудоотложения. Они могут содержать существенно различные месторождения. Рудоносные формации выделяются как формационно-однородные, содержащие однотипные месторождения. Рудогенерирующие формации – это геологические тела, которым отводится роль источников вещества, транспортирующих агентов и энергии рудообразования. Рудообразующие формации выступают как источники энергии при рудообразовании. Существующие концепции рудогенеза предполагают шесть моделей металлогенических формаций. Эти модели имеют следующие формализованные выражения: РВФ + ГФ; РВФ = НФ; РВФ = НФ = РГФ; (РВФ = РНФ) + РОФ; (РВФ = РНФ) + (РОФ + РГФ); РВФ + (РВФ = РНФ = РГФ).

Районирование территорий может производиться по одному из следующих вариантов:

- 1) РВФ=РНФ. Одна и та же геологическая формация выступает в роли как рудовмещающей, так и рудоносной.
- 2) РВФ=РНФ=РГФ. Одна и та же геологическая формация выступает в роли рудоносной, рудовмещающей и рудогенерирующей.
- 3) РВФ + РГФ и РВФ + (РВФ=РНФ = РГФ). Рудообразование реализуется при сочетании одной формации с любыми формациями в роли рудовмещающих.
- 4) (РВФ = РНФ) + РОФ и (РВФ = РНФ) + (РОФ + РГФ). Рудообразование реализуется за счет перераспределения непромышленных концентраций рудного вещества в формации под воздействием рудообразующей формации, которая может играть роль и рудогенерирующей.

Потенциальные рудоносные районы, рудные поля, перспективные участки выделяются по совокупности признаков, входящих в модели этих объектов. Например,

применительно к медно-порфировым месторождениям металлогенические зоны выделяются по варианту 3 как площади развития вулкано-плутонических ассоциаций, несущих оруденение. Рудные поля отвечают рудно-метасоматическим системам, центрами которых служат порфировые интрузивы. Месторождения, рудные тела (участки) в пределах этих систем контролируются тектоникой и определяются анализом рудно-метасоматической зональности. Набор признаков, необходимых для установления перспективного участка, определяется положением эрозионного среза (рис. 59).

3.7.2. Методика формирования прогнозно-поискового комплекса

Каждой стадии геологоразведочного процесса отвечают однотипные по строению блоки прогнозно-поискового комплекса, а всему процессу – сумма сопряженных по вертикали (по последовательности выполнения таких блоков). Это отражает принцип последовательного приближения (см. рис. 109, 110).

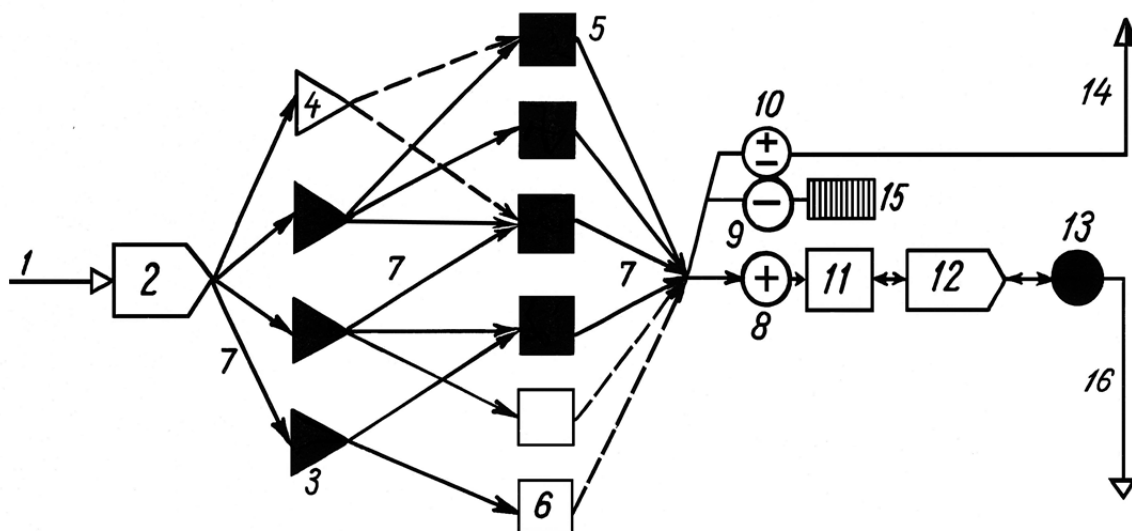


Рис. 109. Блок-схема стадии прогнозно-поискового комплекса:

1 – переход от предшествующей стадии; 2 – стадия работ; 3-4 – методы работ: 3 – обязательные, 4 – дублирующие и избыточные; 5-6 – признаки объектов: 5 – необходимые, 6 – дополнительные; 7 – связи методы-признаки и признаки-объекты основные и второстепенные; 8-10 – результаты работ: 8 – положительные, 9 – отрицательные, 10 – неопределенные; 11-13 – объекты прогноза и поисков: 11 – геологические, 12 – металлогенические, 13 – ресурсы и запасы руд; 14 – возврат к предшествующей стадии; 15 – прекращение работ; 16 – переход к следующей стадии

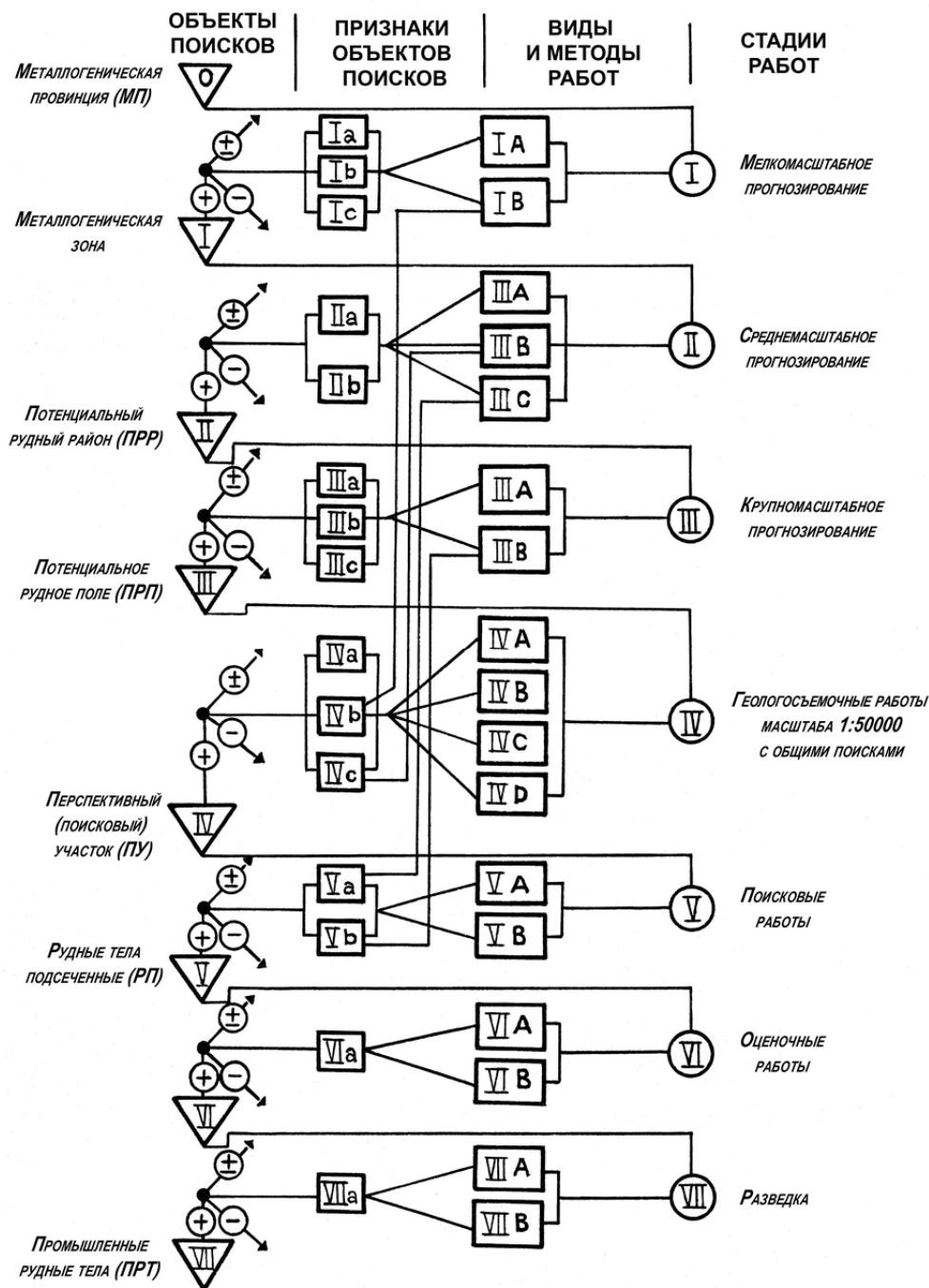


Рис. 110. Принципиальная схема прогнозно-поискового комплекса
(по А.И. Кривоцову и др.)

Каждый отдельный блок представляет систему взаимосвязанных элементов «методы–признаки–объекты», которая должна надежно обеспечить достижение цели определенной стадии. При формировании блоков решаются следующие задачи: создание геологической модели объектов прогноза и поисков с набором признаков-

характеристик модели; разделение признаков на главные и дополнительные; оценка опознаваемости объекта прогноза и поисков отдельными признаками и их сочетаниями; оценка выявляемости признаков объекта различными методами (сочетаниями методов) с учетом их разрешающих возможностей.

При оценке опознаваемости объектов признаками необходимо учитывать обстановку ведения работ по прогнозу и поискам. Объекты могут опознаваться одним, несколькими или комплексом всех известных признаков. Признаки, выделяемые комплексом методов прогнозирования-поисков, делятся на информативные, дублирующие и избыточные. Последние обычно исключаются из комплекса. Анализ можно проводить с помощью ЭВМ.

Оптимизация в звеньях «признаки-объекты» и «методы-признаки», выполненная в каждом блоке, и обеспечивает основной вариант прогнозно-поискового комплекса.

Различная степень благоприятности геологической обстановки для выполнения работ по прогнозу и поискам, высокая эффективность отдельных методов в определенных условиях позволяют предложить сокращенные варианты реализации прогнозно-поисковых комплексов. Это возможно в тех случаях, когда методы, поставленные на одних стадиях, позволяют решать задачи последующих стадий или когда на изучаемой площади те или иные признаки выявлены предшествующими работами. Сокращение полных вариантов производится за счет исключения части излишних методов в стадиях или отдельных стадий полностью. На основе имеющихся ППК и экспертных систем разрабатываются автоматизированные варианты прогнозно-поисковых комплексов.

3.7.3. Применение прогнозно-поисковых комплексов при планировании и проведении работ

Реализации комплексов для конкретных геолого-промышленных типов месторождений предшествует анализ состояния прогнозно-поисковой изученности территорий. Анализ выполняется по специализированным картам признаков объектов разного ранга. Территория намечаемых работ разделяется по сочетаниям признаков на участки, подготовленные для постановки работ разных стадий с применением того или иного варианта прогнозно-поисковых комплексов.

При применении прогнозно-поисковых комплексов учитывается возможность получения трех вариантов решения задач стадии: неопределенного, отрицательного и положительного. Первый вариант требует возвращения к предшествующей стадии работ с постановкой более информативных методов. Второй вариант указывает на отсутствие объектов поисков на данной территории и является основанием для прекращения работ. Третий вариант соответствует обнаружению объекта и определяет возможность перехода к работам следующей стадии.

Такие системы и комплексы должны рассматриваться в качестве основы технологии геологоразведочного процесса. Они определяют необходимость оптимизации и увеличения эффективности поисковых и оценочных работ. Эти комплексы позволяют в кратчайший срок с минимальными затратами последовательно решать задачи по выявлению и оценке месторождений полезных ископаемых.

3.7.4. Геолого-экономическая эффективность прогнозно-поисковых и оценочных работ

Эффективность прогнозно-поисковых работ обычно рассматривается с двух позиций: с экономической и геологической. Поэтому и выделяется экономическая и геологическая эффективность. Экономическая эффективность – это получение необходимых результатов с наименьшими затратами средств и времени. Геологическая эффективность поисковых работ – это получение максимума кондиционных геологических данных для прогноза и выявления месторождений полезных ископаемых, а также для их перспективной оценки.

Однако общепринятой методики определения экономической эффективности геологоразведочных работ пока не существует. Большинство исследователей различают отраслевую и народнохозяйственную экономическую эффективность затрат на геологоразведочные работы [Каждан, 1984].

Отраслевая эффективность отражает результаты проведения геологоразведочных работ по отдельным стадиям. Она определяется объемом и качеством выполнения геологических заданий, затратами на поиски и разведку, а также достоверностью полученных сведений. Отраслевая эффективность оценивается следующими показателями:

- количеством и качеством выявленных запасов полезных ископаемых по категориям их оценки и разведанности;
- приростом эффективно разведанных запасов на 1 рубль затрат (З.разв. – затраты разведанные) на геологоразведочные работы: $\Delta + Q / \text{З.разв.}$;
- себестоимостью единицы запасов (удельными затратами): $\text{Уд.з.} = \text{З.разв.} / Q$;
- экономией, получаемой в результате выполнения геологического задания.

Народнохозяйственная эффективность определяется конечным результатом геологоразведочных работ с учетом эффекта от промышленного использования разведанных запасов. Для оценки народнохозяйственной эффективности геологоразведочных работ, выполненных на конкретном месторождении, могут быть использованы следующие показатели:

- 1) количество и качество разведанных запасов полезных ископаемых в недрах, пригодных для реализации в народном хозяйстве;
- 2) стоимость разведанных запасов в денежном выражении;
- 3) стоимость разведанных запасов в недрах, приходящихся на один рубль затрат на геологоразведочные работы;
- 4) прибыль и дифференцированный рентный доход от реализации разведанных запасов.

Для сравнительной оценки результатов оценочных и разведочных работ народнохозяйственная эффективность геологоразведочных работ может быть охарактеризована системой косвенных показателей, отражающих соотношения затрат на оценку и разведку: а) стоимостью товарной продукции, б) себестоимостью товарной продукции, в) капитальными вложениями в промышленное освоение разведанных запасов месторождений, г) прибылью от промышленного использования минерального сырья.

Еще более сложным является определение геолого-экономической эффективности поисков, завершающихся выявлением перспективных геологических структур, зон, а не конкретных месторождений с запасами полезного ископаемого, оцененного на уровне промышленных категорий.

Пути повышения общей экономической эффективности поисковых работ определяются следующими показателями [Баранников, 1997].

1. *Применение рациональной методики поисковых работ.* Например, применение групповой геологической съемки, сопровождаемой предварительными поисками, позволяет экономить средства и время на прогнозную оценку регионов. На второй стадии рациональная методика поисковых работ с учетом характера геологических и геофизических аномалий создает условия для сокращения затрат на комплекс применяемых поисковых методов за счет исключения тех методов, которые непригодны для выявления данных аномалий. Это увеличивает и геологическую эффективность работ.

2. *Возможность сокращения объемов горно-буровых работ.* Удельный вес поискового бурения для выявления скрытых месторождений составляет 25–75% от общего объема поискового и разведочного бурения. Сокращение объемов горно-буровых работ возможно за счет применения геохимических и геофизических методов поисков.

3. *Применение новой техники, технологии и организации поисковых работ влияет на повышение эффективности работ.* Например, новые станки УПБ-25, УПБ-12/25 заменяет дорогое и непроизводительное ручное бурение картировочных и поисковых скважин. Система документации на перфокартах позволяет экономить время при обобщении полевых материалов.

4. Выявление перспективных объектов как наиболее значительный результат поисковых работ, определяющий резкое повышение их эффективности. Выявление перспективных площадей ограничивает площади дальнейших работ и поэтому позволяет экономить средства и время. Выявление проявлений полезных ископаемых, заслуживающих постановки разведки, экономически наиболее эффективный результат поисковых работ.

Показателем эффективности затрат на оценочные работы является цена выявленных прогнозных ресурсов и запасов сырья в недрах. По И.А. Хрущеву, она определяется по формуле

$$Ц_3 = ОНЗ + А \cdot Пэ - К_в, \text{ руб/т,}$$

где $Ц_3$ – цена 1 т выявленных ресурсов и запасов; $ОНЗ$ – общественно-необходимые затраты (средние по отрасли) на разведку в общей сумме капитальных вложений в промышленное освоение полученных запасов и ресурсов; $А$ – ожидаемая годовая производительность горнорудного предприятия; $Пэ$ – расчетная прибыль от эксплуатации полученных запасов и ресурсов; $К_в$ – коэффициент, учитывающий фактор времени, равный 0,5 при десятилетнем разрыве во времени между затратами на разведку и получение прибыли от их разработки.

В других случаях дается оценка перспективных площадей и аномалий, на основе оценки прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Эффективность поисковых работ зависит, прежде всего, от принятого прогнозно-поискового комплекса и степени соответствия его и объемов выполненных работ особенностям геологического строения объекта изучения с учетом природных факторов его, а также геологической эффективности принятых методов исследований. В общем случае она может быть оценена следующими способами:

- 1) сравнительным анализом проектно-сметных и фактических объемов работ;
- 2) относительной оценкой количества результативных горных выработок (и поисковых скважин) с фактически пройденными на перспективных площадях;

- 3) сравнительным анализом эффективности выполненных работ по отношению к проектной;
- 4) расчетом удельных затрат на единицу прогнозных ресурсов.

Рассмотрим это на примере поисковых работ в одном из горнотаежных районов Тувы. В поисковый комплекс по объекту включены [Коробейников, Кузубный, 1998]:

- 1) поисковые маршруты и составление опорных геологоструктурных разрезов;
- 2) литохимические поиски по вторичным и первичным ореолам рассеяния;
- 3) электроразведка методами ВП-СГ, ТЗВП и ЗС (ЗМПП);
- 4) магниторазведка;
- 5) горные работы для получения искусственных обнажений по профилям и вскрытия минерализованных зон и аномалий;
- 6) бурение поисковых скважин и сопровождающие каротажные исследования;
- 7) опробовательские работы;
- 8) тематические работы.

Геологическая эффективность этих методов в ландшафтных условиях горнотаежной зоны Восточной Тувы и слабой обнаженности района достаточно высока. Детальные поисковые маршруты в сочетании с опорными разрезами и горными работами по профилям позволяют составить надежную геологическую основу изучаемой площади и обнаружить выходящие на дневную поверхность минерализованные зоны даже по курумам. Геохимические поиски в этих условиях способны выявить перекрытые рыхлыми отложениями ореолы рудной минерализации, вскрытые эрозией, а также отвечающие «слепому» оруденению. Комплекс основных наземных геофизических работ (электроразведка методами ВП-СГ, ТЗ-ВП и магниторазведка) позволяет обнаружить аномальные структуры, зоны гидротермально-измененных пород и сульфидной минерализации, а также систематизировать их и дать первую оценку на глубину.

Значительно меньше поле применимости в условиях горно-таежного ландшафта района на стадии поисков оказалось для метода ЗМПП. Не использованы возможности метода заряда. Наличие в составе прогнозно-поискового комплекса горных работ, поискового бурения, каротажа скважин, опробовательских работ и тематических исследований сомнений не вызывают.

Таким образом, применяемые в условиях рассматриваемого района методы исследований достаточно апробированы и эффективны, а принятый прогнозно-поисковый комплекс в целом соответствует особенностям геологического строения объекта изучения и главным элементам традиционного поискового комплекса колчеданно-полиметаллических месторождений. Однако в проекте и особенно в фактическом исполнении его для эффективных поисков руд совершенно недостаточны объемы горных и буровых работ, что, естественно, отрицательно сказалось на результатах. Так, горные и буровые работы в проекте были заложены в объемах 32863 м³ и 10530 пог. м, а фактически выполнены только на 50%. Опыт поисковых работ масштаба 1:10000 и крупнее в пределах типовых колчеданных провинций страны (Урал, Рудный Алтай) показывает, что объемы горно-буровых работ на объекте занижены на целый порядок. Установлено, например, что для обнаружения одного колчеданно-полиметаллического месторождения в условиях Рудного Алтая требуется бурение около 200 тыс. пог. м. поисковых скважин.

Эффективность проведения поисков путем сравнения проектно-сметных и фактических затрат на работы показывает, что фактические затраты на выполнение

полевых работ и в целом относительно проектно-сметных составляют около 50%. При первом взгляде это как будто хорошо. Однако кажущаяся «экономия» средств связана, прежде всего, со значительным невыполнением плана горнопроходческих и буровых работ (соответственно 57,7 и 47,5%), что явилось следствием значительных упущений в организации поисков и, естественно, сказалось на их продуктивности.

Определение эффективности поисковых работ на основе относительной оценки количества результативных горных выработок (и скважин) и фактически пройденных на площади исследований базируется на данных таблицы 17. Из таблицы видно, что около 50% выработок (канавы, скважины), планируемых для вскрытия аномалий, минерализованных зон и поисков руд, частично или полностью свои задачи выполнили. Однако скоплений колчеданно-полиметаллических руд в промышленных масштабах горными выработками и скважинами не вскрыто.

Таблица 17

Оценка результативности горных выработок и скважин по их количеству

Участок работ	Горные работы			Поисковые скважины		
	Количество выработок, пройденных на перспективных участках	Количество выработок, выполнивших проектное задание	Относительная результативность, %	Количество скважин, пройденных на перспективных участках	Количество скважин, частично или полностью выполнивших проектное задание	Относительная результативность, %
Участок А	26	7	27	5	2	40
Участок В	2	2	100	4	2	50
Участок С	23	14	61	2	1	50

Эффективность поисков на основе сравнительного анализа результативности выполненных работ по отношению к проектной определяется на данных таблицы 18.

Таблица 18

Оценка результативности поисковых работ по соотношению плановой и фактической продуктивности горных выработок и скважин

Участок работ	Горные работы			Поисковые скважины		
	Плановая продуктивность, %	Фактическая продуктивность, %	Относительная результативность, %	Плановая продуктивность, %	Фактическая продуктивность, %	Относительная результативность, %
Участок А	10	5	50	6	1,0	17
Участок Б	10	8	80	7	1,3	20
Участок С	10	20	200	12	4,8	40

Таблица отражает относительно высокую результативность горных выработок в целом и низкую поисковых скважин на участках А и В (в последнем случае за счет разбуривания только одного – опорного структурного профиля). Высокая продуктивность горных работ и поисковых скважин на участке С определяется значительными объемами геолого-геохимических, геофизических исследований и надежной подготовкой поверхности к ее вскрытию горно-буровыми средствами. Результатом

явилось обнаружение целого ряда минерализованных зон (рудопроявлений) и подсе-чение одной из них на глубину.

Расчет удельных затрат на единицу прогнозных ресурсов возможен только для одного участка С (табл. 19).

Приведенные в главе данные отражают низкую эффективность поисков на участках А (прогнозные ресурсы не подтверждены), В (прогнозные ресурсы не реализованы в связи с малыми объемами бурения) и относительно высокую на участке С (прогнозные ресурсы подтверждены и переведены в категорию P_1 и P_2). В связи с этим предлагается: 1) прогнозные ресурсы P_2 по участку А снять как не подтвержденные; 2) прогнозные ресурсы P_2 по участку В оставить в полном объеме, как не реализованные в процессе выполнения поисковых работ; 3) прогнозные ресурсы P_1 и P_2 по участку С утвердить в объеме, представленном авторами отчета.

Таблица 19

Расчет удельных затрат на единицу прогнозных ресурсов

Участок работ	Прогнозные ресурсы P_3 утвержденные, тыс.т. металла (цинк+свинец+медь)	Прогнозные ресурсы, реализованные выполненными работами, тыс.т. металла (цинк+медь)	Затраты, тыс.руб	Удельные затраты на единицу прогнозных ресурсов P_1+P_2
Участок А	860	Не подтверждены		
Участок В	740	Не реализованы в связи с малыми объемами буровых работ		
Участок С	1800	1500	500	0,4 руб/т
В целом	3400	1500	1300	0,8 руб/т

По результатам поисковых работ составляются технико-эколого-экономические соображения (ТЭЭС), а оценочных работ – технико-эколого-экономические обоснования (ТЭЭО).

3.7.5. Организация и проектирование прогнозно-поисковых работ

Проектирование поисковых и прогнозно-поисковых работ –важный и ответственный этап их организации. От его выполнения зависит выбор рационального прогнозно-поискового комплекса, глубина проработки исходного – конечного фактического материала, качество реализации планируемых исследований и, в конечном итоге, их результативность.

Основным документом, регламентирующим подготовку и проведение прогнозно-поисковых работ является геологическое задание. В нем определены: 1) целевое назначение работ, пространственные границы объекта и основные оценочные параметры; 2) геологические задачи, последовательность и основные методы их решения; 3) ожидаемые результаты и сроки выполнения работ (с указанием форм отчетной документации и времени представления отчета в фонды). Геологическое задание согласовывается с отраслевыми специалистами, подписывается главным геологом и утверждается генеральным директором государственного геологического предприятия (ГГП). На основе геологического задания производится анализ и оценка ранее проведенных исследований по району и составляется проект на производство дальнейших работ.

В проекте кроме геологического задания обычно предусматривается разработка следующих разделов:

- геолого-экономические условия проведения работ;
- обзор, анализ и оценка ранее проведенных исследований;
- геологическая, геофизическая, геохимическая характеристика района с раскрытием геологических предпосылок и признаков ожидаемого оруденения) и геолого-экономическое обоснование работ;
- методика, объемы и условия проведения проектируемых работ;
- метрологическое обеспечение геологоразведочных работ;
- строительство временных зданий и сооружений;
- транспортировка грузов и персонала;
- охрана труда и техника безопасности;
- ожидаемые результаты и оценка проектируемых прогнозных ресурсов;
- подрядные работы (если они предусматриваются).

Наиболее ответственным является четвертый раздел проекта, разработка которого требует от исполнителя высокой квалификации и всестороннего знания особенностей района работ. В нем раскрываются геологические задачи, методы их решения и принятый прогнозно-поисковый комплекс, рассматриваются особенности организации (кто и в какое время выполняет работы, где предполагается размещать базу партии и временные стоянки, где и когда выполняются камеральные работы, когда и кому представляются текущая отчетность и окончательный отчет), проектирования и задачи подготовительного периода к полевым работам (доизучение фондовых, первичных архивных данных и их обобщение, подготовка топоосновы, предполевое дешифрирование аэро- и космических материалов), обосновываются виды, объемы планируемых работ и затраты времени на их реализацию соответствующими специалистами (поисковые маршруты, составление опорных разрезов, геохимические и геофизические поиски, горнопроходческие и буровые работы, массовые поиски урана, попутные поиски камнесамоцветного сырья, опробовательские, топогеодезические, лабораторные, камеральные работы и др.). Обоснование видов и объемов работ производится с учетом районирования территории по геологоструктурным особенностям, рельефу, мощности рыхлых отложений и природно-климатическим обстановкам.

Планируемые виды, объемы работ и затрат времени на их выполнение обобщаются в специальные таблицы, которые служат основой для определения штатного состава исполнителей (партии, отряда) и проектно-сметной документации стоимости поисковых или прогнозно-поисковых работ. К тексту предлагаются графические материалы и список использованной литературы.

Возможно представление конкурирующих вариантов проекта. Критериями выбора оптимального из них является степень обеспеченности надежного выполнения геологического задания на основе эффективного прогнозно-поискового комплекса и ресурсосберегающей технологии прогнозно-поисковых работ, определяющих оптимальное решение поставленных задач при минимальном расходовании денежных средств.

Проведение поисковых и прогнозно-поисковых работ производится строго в соответствии с проектом и выходом на конечную продукцию, предусмотренную геологическим заданием. Важным звеном геологоразведочного процесса является контроль качества проводимых исследований и оценка выполнения основных показателей геологического задания на определенную стадию работ. Контроль качества полевых исследований (включая контроль опробования) производится систематически специалистами разного уровня: главным геологом и начальником партии (отряда),

ведущими специалистами экспедиции, представителями госгеолконтроля. Проверяются правильность ведения полевых дневников, качество отбора проб и их обработки, качество выполнения горнопроходческих и буровых работ, комплексность исследований и соответствие их проекту. Результаты проверки записываются в дневники, соответствующие журналы или оформляются в виде актов проверки и передаются исполнителям.

Осенью, после каждого полевого сезона, производится приемка полевых материалов партии (отряда) специальной комиссией, созданной по экспедиции. Комиссия просматривает все полевые материалы (дневники, журналы, коллекцию горных пород и руд, карты, схемы и др.), оценивает их качество и возможность использования для камеральной обработки и составления отчета. В акте приемки полевых материалов особо отражаются соответствие исследований заданию и их результативность (продуктивность).

Итоги полевых камеральных исследований являются основой для составления отчета. Качество последнего и общая результативность поисковых и прогнозно-поисковых работ оценивается рецензентами, НТС экспедиции и ГПП. После экспертизы отчет передается на хранение в фонды.

Вопросы для самопроверки третьей части

1. Как влияет качество полезного ископаемого на выбор способа и метода опробования?
2. Какие виды опробования применяются при поисках месторождений полезных ископаемых?
3. Какие рациональные способы отбора проб необходимо применить при поисках золоторудных и алмазных месторождений?
4. Какие особенности встречаются при опробовании керна колонковых скважин?
5. Какими способами изучается качество полезного ископаемого без отбора проб?
6. В чем заключается контроль опробования?
7. Какие погрешности появляются при опробовании полезных ископаемых?
8. Какие способы выявления случайных и систематических погрешностей Вам известны?
9. Какие принципы положены в основу формирования оптимальных прогнозно-поисковых комплексов?
10. Каким образом выделяются перспективные площади и методы их выделения?
11. Поясните методику формирования прогнозно-поискового комплекса.
12. Какие методы оценок геолого-экономической эффективности прогнозно-поисковых работ Вам известны?
13. Какие приемы проектирования используются при прогнозно-поисковых работах?
14. Требования к геологическому заданию.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Аристов В.В. Поиски твердых полезных ископаемых: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1975.

Аэрометоды геологических исследований. – Л.: Недра, 1971.

Аристов В.В., Роков А.Н. Локальный прогноз и методика поисков основных промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых. Учебное пособие. – М.: МГОУ, 1996. – 419 с.

Баранников А.Г. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Учебное пособие для вузов. – Екатеринбург: изд-во УрГГГА, 1999. – 142 с.

Бекжанов Г.Р., Бугаец А.Н., Лось В.Л. Геологические модели при прогнозировании ресурсов полезных ископаемых. – М.: Недра, 1987.

Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986.

Генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1983. Т. 1, 2; Т. 1, 2, 3.

Добрецов В.Б. Освоение минеральных ресурсов шельфа. – Л.: Недра, 1980.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983.

Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1984.

Карасик М.А., Кирикилица СИ., Герасимова Л.И. Атмогеохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1986.

Классификация запасов и природных ресурсов твердых полезных ископаемых: Приказ Минприроды РФ № 278 от 11.12.06 г. – М.: Минприроды, 2006.

Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. 2-е изд. – М.: Недра, 1984.

Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач / Под ред. В.Е.Никитского, В.В.Бродового. – 2-е изд. – М.: Недра, 1987.

Компьютерный прогноз месторождений полезных ископаемых / В.В. Марченко, Н.В. Межеловский, З.А. Немировский и др. – М.: Недра, 1990.

Компьютеризированная методика прогнозирования рудоносности (методические рекомендации) / Составители М.И. Пахомов, В.И. Сучков, В.И. Никулин и др. – М.: ВИМС, 2000.

Коробейников А.Ф., Кузубный В.С. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998.

Коробейников А.Ф. Моделирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. Учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.

Коробейников А.Ф. Прогнозирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. Учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.

Красников В.И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1965.

Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969.

Космическая геология. Пер. с англ. Под ред. В.А.Кирюхина. – Л.: Недра, 1979.

Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. 2-е изд. –Л.: Недра, 1986.

Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. – М.: ЦНИГРИ, 1989.

Методика разведки россыпей золота и платиноидов. – М.: ЦНИГРИ, 1992.

Методические рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов полезных ископаемых. – Алма-Ата, 1982.

Методика геолого-экономической переоценки запасов месторождений твердых полезных ископаемых (по укрупненным показателям). – М.: ВИЭМС, 1996. – 29 с.

Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Т.1. Принципы и методы оценки / Ю.В. Богданов, М.Н. Денисов, А.И.Кривцов и др. – М.: ВИЭМС, 1986.

Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. –М.: Недра, 1988.

Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений. –М.: Недра, 1992.

Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений / Б.А.Колотов, С.Р. Крайнов, В.З. Рубейкин. – М.: Недра, 1983.

Пизнюр А.В. Основы термобарогеохимии: Учебное пособие для вузов. – Киев: Высшая школа, 1976.

Питулько В.М., Крицук И.Н. Основы интерпретации данных поисковой геохимии. –Л.: Недра, 1990.

Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. –Л.: Недра, 1985.

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / Е.О. Погребницкий, Н.В. Иванов, А.В. Скропышев и др. – М.: Недра, 1968.

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / Е.О. Погребницкий, С.В. Парадеев, Г.С. Поротов и др. Изд. 2-е. –М.: Недра, 1977.

Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых / Под ред. В.Т. Покалова. – М.: Недра, 1984.

Прогнозно-металлогенические исследования при региональных геолого-съемочных работах / Н.В. Кочкин, Е.В. Альперович, О.П. Апольский и др. – Л.: Недра, 1985.

Прогнозно-металлогенические исследования при глубинном геологическом картировании / М.Л. Сахновский, П.А. Литвин, Б.М. Михайлов и др. – Л.: Недра, 1988.

Прогнозно-поисковые комплексы. / Под ред. А.И.Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, вып.1, 2, 4, 1983; вып.7, 1984.

Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. V. Оценка золотоносности медно-порфировых месторождений. Методические рекомендации / Отв. ред. А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 1984.

Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1988.

Сапожников Д.Г. Основы прогноза осадочных рудных месторождений. –М.: Недра, 1972.

Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. – Л.: Недра, 1971.

Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.:Недра, 1985.

Сухов Л.Г., Дуденко Л.Н., Наторхин И.А. Количественные методы прогнозирования эндогенных рудных месторождений. – Л.: Недра, 1981.

Фарфель Л.С. Прогнозирование рудных месторождений. – М.: Недра, 1988.

Фурсов В.З. Газоргутный метод поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Наука, 1983.

Харченков А.Г. Принципы и методы прогнозирования минеральных ресурсов. – М.: Недра, 1987.

Четвериков Л.И. Методологические основы опробования пород и руд. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980.

Шатагин Н.Н., Щеглов В.И. Моделирование месторождений и рудных полей на ЭВМ (диалоговые системы): Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1989.

Эшкин В.Ю. Поисковая минералогия и минералогическое картирование. Учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1989.

Принятые сокращения

- АНКазССР – Академия наук Казахской ССР, г. Алматы
АН СССР – Академия наук СССР (ныне РАН – Российская академия наук)
ВИМС – Всероссийский институт минерального сырья, г. Москва
ВИЭМС – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики минерального сырья и геологоразведочных работ, г. Москва
ВостСНИИГГиМС – Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, г. Иркутск
ВСЕГЕИ – Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, г. Санкт-Петербург
ВП – метод вызванного электрического поля
ВСП – метод вертикального сейсмического профилирования
ВЭЗ – метод вертикального электрического зондирования
ГКЗ – Государственная комиссия по запасам, г. Москва
ГСЗ – глубинное сейсмическое зондирование
ДВИМС – Дальневосточный институт минерального сырья, г. Хабаровск
ДИП – метод дипольного индуктированного профилирования
ДЭЗ – метод дипольного электрозондирования
ЕП – метод естественного электрического поля
ЗС – метод зондирования становлением поля
ЗМ – метод заряда
ИГЕМ – Институт геологии рудных месторождений, петрографии и минералогии, г. Москва
ИВЦ – информационно-вычислительный центр
ИПИ – Иркутский политехнический институт (технический университет)
КазВИРГ – Казахский институт разведочной геофизики, г. Алматы
КазИМС – Казахский научно-исследовательский институт минерального сырья, г. Алматы
КСПК – контактный способ поляризации кривых
ЛГИ – Ленинградский горный институт (Санкт-Петербургский технический университет), г. Санкт-Петербург
МГГА – Московская государственная геологоразведочная академия (Российский государственный геологоразведочный университет), г. Москва
МОВ – метод отраженных волн
МОГ – метод обращенных годографов
МОГТ – метод обращенной глубинной точки
МПВ – метод преломленных волн
МПГ – метод переходных градиентов
МПП – метод переходных процессов
МТЗ – магнитно-теллурическое зондирование
МТП – метод магнитотеллурического профилирования
МТТ – метод теллурически-251х токов
МРНП – метод регулирующего направленного приема
НТС – научно-технический совет
ПЕЭП – метод переменного естественного электрического поля

РАН – Российская академия наук
Роскомнедра – Комитет по геологии и использованию недр РФ (Министерство природных ресурсов РФ), г. Москва
РВП – метод радиоволнового просвечивания
САИГИМС – Среднеазиатский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья, г. Ташкент
СГ – метод срединного градиента
СНИИГГиМС – Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, г. Новосибирск
СДВР – сверхдлинноволновый вариант радиокип
СПК – безконтактный способ поляризационных кривых
ТГУ – Томский государственный университет, г. Томск
ТПУ – Томский политехнический университет, г. Томск
УГГА – Уральская государственная горно-геологическая академия, г. Екатеринбург
ЦНИГРИ – Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва
ТЗ - метод теллурического зондирования
ЧИМ - метод частичного извлечения металлов
ЧЗ – метод частичного зондирования

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. Исторический очерк	5
2. Систематика месторождений для целей прогноза и поисков	9
3. Принципы изучения недр и стадии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые	15
Часть 1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РУДОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	19
1.1. Общие положения: принципы и задачи геологического прогнозирования	19
1.2. Объекты прогнозирования при геологосъемочных и поисковых работах ..	20
1.3. Геологические предпосылки прогнозирования формационных и геолого- промышленных типов месторождений.....	22
1.4. Региональное минерагеническое прогнозирование.....	23
1.4.1. <i>Общие положения: принципы и методы исследований.....</i>	23
1.5. Методы региональных прогнозно-минерагенических работ.....	25
1.6. Методика выделения перспективных рудоносных площадей	41
1.7. Прогнозно-минерагенические и прогнозные карты, методы их составления	44
1.8. Геологические основы крупномасштабного и детального прогноза	61
1.8.1. <i>Цели и задачи прогнозирования</i>	61
1.8.2. <i>Прогнозирование при глубинном геологическом картировании (ГГК) ...</i>	64
1.9. Геофизические методы при крупномасштабных прогнозно- минерагенических исследованиях	65
1.10. Крупномасштабные и детальные карты прогноза, методы их составления	68
1.10.1. <i>Методы составления крупномасштабных и детальных карт прогноза</i>	69
1.11. Особенности прогнозирования скрытого оруденения	78
1.11.1. <i>Закономерности размещения глубокозалегающих руд</i>	78
1.12. Рудно-метасоматическая зональность как основа прогнозирования скрытого оруденения	88
1.13. Классификация прогнозных ресурсов полезных ископаемых	91
Вопросы для самопроверки первой части	93
Часть 2. ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	95
2.1. Геологические основы поисков месторождений полезных ископаемых	95
2.1.1. <i>Поисковые критерии месторождений полезных ископаемых</i>	95
2.1.2. <i>Поисковые признаки промышленного оруденения</i>	114
2.1.3. <i>Природные условия ведения поисковых работ</i>	132
2.2. Методы поисков месторождений полезных ископаемых	139
2.2.1. <i>Дистанционные методы поисков</i>	139
2.2.2. <i>Наземные методы поисков</i>	145
2.2.3. <i>Подводные методы поисков</i>	168
2.2.4. <i>Комплексирование поисковых методов</i>	172

2.3. Модели объектов как основа комплексирования рациональных методов поисков	176
2.3.1. <i>Графические модели</i>	180
2.3.2. <i>Геологоструктурные модели</i>	181
2.3.3. <i>Генетические модели</i>	185
2.3.4. <i>Геолого-генетические модели рудных формаций</i>	188
2.3.5. <i>Физико-геологические (геофизические) модели рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых</i>	191
2.3.6. <i>Модели формирования геохимических полей</i>	193
2.3.7. <i>Физико-химические модели рудообразующих систем</i>	193
2.3.8. <i>Статистические модели</i>	195
2.3.9. <i>Геолого-математические модели</i>	198
2.3.10. <i>Комплексные и многофакторные модели рудных месторождений</i>	202
2.4. Методика поисковых работ на различных стадиях геологоразведочного процесса	204
2.4.1. <i>Методика поисков, сопровождающих геологические съемки</i>	205
2.4.2. <i>Методика поисковых работ</i>	206
2.4.3. <i>Методика оценочных работ</i>	208
2.5. Методы количественной оценки и подсчета прогнозных ресурсов	214
2.5.1. <i>Методы подсчета прогнозных ресурсов</i>	214
2.5.2. <i>Критерии геолого-экономической оценки потенциальных месторождений</i>	220
2.5.3. <i>Прогнозные ресурсы – важнейший фактор рациональных поисковых оценочных и разведочных работ</i>	223
Вопросы для самопроверки второй части	224
ЧАСТЬ 3. ОСНОВЫ ОПРОБОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	226
3.1. Понятия о качестве полезного ископаемого	226
3.2. Задачи и виды опробования	228
3.3. Рациональные способы отбора проб	229
3.4. Виды проб и их размещение	232
3.5. Изучение качества полезного ископаемого без отбора проб	233
3.6. Контроль опробования. Погрешности опробования	234
3.7. Принципы формирования оптимальных прогнозно-поисковых комплексов	236
3.7.1. <i>Последовательность выделения перспективных площадей</i>	237
3.7.2. <i>Методика формирования прогнозно-поискового комплекса</i>	238
3.7.3. <i>Применение прогнозно-поисковых комплексов при планировании геологоразведочных работ</i>	240
3.7.4. <i>Геолого-экономическая эффективность прогнозно-поисковых и оценочных работ</i>	241
3.7.5. <i>Организация и проектирование прогнозно-поисковых работ</i>	245
Вопросы для самопроверки третьей части	247
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	248
Принятые сокращения	251

Учебное издание

КОРОБЕЙНИКОВ АЛЕКСАНДР ФЕОПЕНОВИЧ

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебник для вузов

2-е издание, исправленное и дополненное

Дизайн обложки *А. Сидоренко*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 07.12.2012. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л. 29,43. Уч.-изд.л. 26,62.

Заказ 1446-12. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru