

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

П.В. Панкратьев, И.В. Куделина, Т.В. Леонтьева

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология

Оренбург

2021

УДК 7550.8(075.8)

ББК 26.34 Я 73

П16

Рецензент – кандидат геолого-минералогических наук,
доцент А.П. Бутолин

Панкратьев, П.В.

П 16 Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / П.В. Панкратьев, И.В. Куделина, Т.В. Леонтьева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 157 с.
ISBN 978-5-7410-2560-4

В учебном пособии 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. Раскрыты особенности регионального, крупномасштабного, локального прогноза. Пособие подготовлено на кафедре геологии, геодезии и кадастра Оренбургского государственного университета.

УДК 7550.8(075.8)

ББК 26.34 Я 73

© Панкратьев П.В.,
Куделина И.В.,
Леонтьева Т.В., 2021
© ОГУ, 2021

ISBN 978-5-7410-2560-4

Содержание

Введение.....	5
1 Геологическое прогнозирование, его цели и задачи; назначение поисковых работ	5
2 Из истории становления и развития дисциплины	10
3 Основные принципы изучения недр и стадии геологоразведочных работ	13
4 Систематика объектов прогноза и поисков	19
5 Основы методики геологического прогнозирования и поисков	27
5. 1 Критерии прогнозной оценки.....	27
5.1.1 Стратиграфический критерий	28
5.1.2 Литолого - фациальный критерий.....	35
5. 1.3 Магматический критерий	40
5.1 4 Структурно - тектонический критерий	43
5.1.5 Формационный критерий.....	49
5. 1.6 Геохимический критерий.....	54
5.1.7 Геоморфологический критерий.....	59
5.1.8 Использование данных о характере и строении геофизических полей	63
6 Прямые и косвенные поисковые признаки	66
6.1 Оценка выходов рудных тел.....	66
6.2 Ореолы рассеяния рудного вещества	77
6.3 Иные прямые поисковые признаки.....	82
6.4 Рудоносные метасоматиты	83
6.5 Прочие виды поисковых признаков	89
7 Группировка методов поисковых работ, их характеристика	93
7.1 Наземные методы поисков	95
7.1.1 Геологические методы	95
8 Природные условия ведения поисковых работ	126
9 Комплексирование методов поисковых работ	134
9.1 Общие вопросы	134
9.2 Систематика объектов поисков. Понятие о геологических полях	136
9.3 Прогнозно - поисковые комплексы	138
9.4 Особенности детального и локального геологического прогнозирования	143

10 Прогнозные карты - их содержание и назначение, количественное прогнозирование	150
Список использованных источников.....	156

Введение

Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 21.05.02 «Прикладная геология» составлено на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и требований к уровню подготовки выпускников вузов.

Последние десятилетия характеризуются постоянным ростом потребления минерального сырья. Наряду с количественным ростом расширяется 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 обуславливает активизацию поисковоразведочных работ как в стране, так и за рубежом. Одновременно возникает проблема резкого сокращения числа «легко открываемых месторождений» прежде всего в известных горнорудных центрах страны. Это предопределяет 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.

Успешное решение проблем прогнозирования, поисков и оценки месторождений разных видов минерального сырья требует подготовки кадров высшей квалификации, владеющих новыми научными знаниями и прогрессивными технологиями.

1 Геологическое прогнозирование, его цели и задачи; назначение поисковых работ

Прогноз (греческое слово) - это предвиденье, предсказание, основанное на каких-то определенных условиях. Научные прогнозы составляют неотъемлемую часть развития экономики, а также общества любой страны, в том числе - в области воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Геологическое прогнозирование (ГП) - это обоснование ожидаемого появления геологических тел в пределах изученной или неизученной территории на основе анализа геохимических, минералого-геохимических и геофизических данных. ГП выступает как прикладная часть металлогении - одного из наиболее творчески развиваемых направлений в цикле наук о Земле. Информационную базу ГП образуют известные природные объекты, а научную - познанные закономерности формирования и размещения месторождений полезных ископаемых. Конечной продукцией ГП являются прогнозные ресурсы - составная часть минерально-сырьевой базы страны. ГП обычно предшествует поискам месторождений полезных ископаемых, является важнейшим атрибутом их успешного проведения. Эти работы становятся все более дорогостоящими. Так, структура затрат на геологоразведочные работы в бывшем СССР составила (в %) региональные работы - 8, поиски месторождений - 53-59, разведка - 0,5, научно - исследовательские работы - 5, конструкторские и прочие работы - 19,5. В связи с исчерпанием фонда «легкооткрываемых» месторождений все большее значение приобретает межстадийное (пред проектное) прогнозирование в общем цикле геологоразведочных работ. Особое значение этот вид работ имеет при исследованиях в пределах рудных районов, узлов и полей (детальное и локальное ГП), когда прогнозирование сопряжено с проводящимися здесь разведочными и даже эксплуатационными работами.

Поиски (по В.В. Аристову) - это процесс выявления и перспективной оценки территорий на определенные типы (промышленные) месторожде-

ний полезных ископаемых, заслуживающих в дальнейшем (при получении положительных результатов) разведки [2]. Задачами поисков являются:

1. Локализация геологического прогноза и подтверждение его открытием проявлений полезных ископаемых.

2. Разработка комплекса методов наиболее эффективного выявления промышленно значимых скоплений полезных ископаемых, их предварительная геолого-экономическая оценка.

Как на этапе ГП, так и поисков, научной основой выполняемых исследований по выявлению перспективных площадей является установление взаимосвязи между типовыми геологическими обстановками и потенциальными рудоносными объектами. Для решения сформулированной задачи применяются различные подходы и методы прогнозирования.

Прогностика как научная дисциплина стала формироваться в 20-х годах, однако своего наибольшего развития она достигла в 50 – 80-е годы. Задачи ее многогранны, в том числе разработка проблем гносеологии (познания) и логики прогностических исследований; обоснование методологических проблем прогнозирования (с целью повышения их обоснованности). Прогнозы подразделяются: по природе прогнозируемых объектов (экономические, социальные, научно-технические - куда попадает и ГП); по подходу к прогнозированию (поисковые, нормативные, комплексные); по периоду времени разрабатываемого прогноза (оперативные, краткосрочные, долгосрочные и т.д.). За основу прогнозирования принимают три источника информации: опыт и аналогию с детально изученными объектами; экстраполяцию на основе закономерностей развития в прошлом и настоящем, модель будущего состояния (на основе выявленных тенденции развития и закономерностей).

Возвращаясь к геологическому прогнозированию, следует подчеркнуть, что процесс образования рудных месторождений отвечает сложнейшей саморазвивающейся динамической системе. Эта система состоит из множества элементов, взаимосвязь которых обуславливает целостность

свойства рассматриваемого множества. В этой связи прогнозирование месторождений представляет собой сложную слабоструктурированную проблему, решение которой затруднено неполнотой наших знаний, имеет широкий диапазон альтернатив и содержит элементы риска. К сожалению, современный уровень знаний, уровень геологической науки в целом (в том числе учения о полезных ископаемых) таков, что возможность успешного прогнозирования месторождений весьма низкая. Если в прогностике прогнозируется то, что будет, то в геологии теми же методами прогнозируются события, происшедшие ранее в связи с геологическими событиями. Это относится к области ретросказания - совокупности методов получения знаний о прошлых явлениях, предметах на основе знаний о настоящих событиях. Настоящее всегда хранит в себе следы прошлого. Эти следы прошлого - тот отправной материал, на котором основывается ретросказание. В случае прогноза рудных месторождений исходными данными служит совокупность признаков - геологических, стратиграфических, минералогических, геофизических и т.д., свидетельствующих о нахождении конкретного типа оруденения в данном месте.

Рудные объекты как сложные системы должны исследовать на основе системно-информационного анализа. Это обуславливает необходимость применения для реализации прогноза информатики, информационно-поисковых систем и информационных моделей. Сказанное предопределяет знание различных разделов математики - теории вероятности и математической статистики, теории факторного анализа и распознавания образов и др. Прогнозные модели строятся сейчас не только в рамках статистических моделей, но и на основе выявления регулярных составляющих изучаемого поля, оценки влияния его случайных составляющих. При всем многообразии существующих в настоящее время подходов прогноз реализуется с использованием двух основных методов эмпирико - статистического и генетического.

Эмпирико-статистический метод - опирается на пространственно -

статистический анализ накопленных данных и позволяет выявлять определенные закономерности проявления изучаемых явлений.

Генетический метод основывается на выявлении причинно-следственных связей прогнозируемого объекта с природными явлениями и построении качественно - количественных моделей, описывающих наиболее существенные из этих связей.

Первый, эмпирико - статистический метод, достаточно точно отражает известные на сегодняшний день соотношения между выявленными рудными объектами и их геологической позицией. В этом случае в большей мере реализуется индуктивный подход к изучению недр. Однако в области понимания геологических процессов многое недоступно непосредственному наблюдению. Поэтому при прогнозировании вынуждены использовать и генетический метод, основывающийся на выявлении причинно-следственных связей прогнозируемого объекта со многими другими природными явлениями и построении качественно-количественных моделей, описывающих наиболее существенные из этих связей. Здесь важную роль играет дедуктивный подход к исследованиям, а эффективность прогноза в первую очередь зависит от того, насколько правильно подмечены наиболее существенные природные связи. Недостаточный учет какого-либо фактора может привести к прогнозу, далекому от реальности.

Значительное количество природных факторов, влияющих на формирование рудных залежей, делает разработку прогноза весьма сложной операцией, а сам прогноз - нередко малодостоверным. Об этом свидетельствует имеющаяся практика обнаружения месторождений полезных ископаемых на основе ГП. Однако, это заставляет исследователей, занимающихся разработкой вопросов теории рудообразования, прикладной металлогении, теории и практики прогнозных исследований, объединить свои усилия и сконцентрировать их на дальнейшей разработке научных основ прогноза применительно к месторождениям различных формационных типов.

2 Из истории становления и развития дисциплины

Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых родилось из потребностей горнорудной промышленности. Прикладная геология пришла к нам через горное дело. Опыт «отыскания» полезных ископаемых передавался с древних времен из поколения в поколение как в устной форме (например, лозоискательство), так и письменной [3].

Уже в начале второй половины XV в. к русским князьям поступали отрывочные сведения о наличии в недрах российских земель залежей золотых и серебряных руд. По указанию Ивана III в 1491 г. была снаряжена на Печору правительственная экспедиция по поискам золотых руд, возглавляемая А. Петровым и В. Болотиным. Для удовлетворения растущих потребностей в строительных материалах в связи с развернувшимся сооружением дворцов и храмов в 1584 г в Москве еще при жизни Ивана IV (Грозного) был создан «Государев приказ Каменных дел». Он просуществовал более 200 лет. В это же время по «челобитным» служивых людей и рудознатцев стали снаряжаться государственные экспедиции для поисков различных полезных ископаемых. Особенно возросло количество казенных партий и экспедиций в первой половине XVII в. Они настойчиво вели поиск серебряных и золотых руд.

Целая эпоха в развитии горного промысла и геологии связана с именем Петра I. Для повышения действенности поисковых работ им был организован «Приказ рудокопных дел», который в 1719 г. был реорганизован в Берг-коллегию, ставшую центральным органом по руководству горнозаводской промышленности Российской империи.

В 1721 г на Урале при Кунгурском Уктусском и Алалаевском заводах были созданы первые в России горнозаводские школы, приступившие к подготовке специалистов горно-металлургического профиля. В 1773 г основывается Санкт-Петербургское Горное училище - первое высшее учебное заведение горного профиля в России [3].

Огромное значение для развития наук горно-геологического профиля имели работы М. В. Ломоносова. Так, книга «О слоях земных» (1763) стала настольной для рудознатцев, оказала большое влияние на развитие поискового и разведочного дела в России. В этой книге М.В. Ломоносов пишет: «Пойдем ныне по своему Отечеству, станем осматривать положение мест и разделим к производству руд способные и неспособные; потом на способных местах поглядим примет надежных, показывающих самые места рудные. Станем искать металлов, золота, серебра и прочих. Дорога будет не скучна, в которой хотя и не везде сокровища нас встречать станут, однако везде увидим минералы, в обществе потребные, которые промыслы могут принести не последнюю прибыль. Металлы и минералы еггми на двор не придут, требуют глаз и рук к своему прииску»

Характеризуя вторую половину XVIII в, нельзя не отметить имена В. И. Геннина, В. Н. Татищева, оставивших потомкам подробное описание заводов Урала с описанием горных пород и руд. В.И. Геннин является автором первого российского Горного устава.

В 1825 г стал выходить «Горный журнал», где были представлены все направления горно-металлургического производства, в частности, геология, разведка и переработка сырья. Отмечая имена исследователей первой и второй половины XIX в, нельзя не упомянуть о профессоре Санкт-Петербургского университета Д. И. Соколове (1788 - 1852) - авторе первого учебника «Курс геогнозии» (1839), Г. Е. Щуровском (1803 - 1884), профессоре МГУ, много сделавшем для создания учения о полезных ископаемых. Центрами подготовки российских горных инженеров и геологов в России вплоть до 1917 г оставались Санкт-Петербургский горный институт (где читали лекции Е.Н. Барбот де Марнм, А. П. Карпинский, К. И. Богданович) и Московский университет (В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман). В 1899 г. профессор Войслое издал книгу «Разведка пластовых, гнездовых и жильных месторождений полезных ископаемых». Вышли книги В.С. Реутовского «Поиски и разведка на золото» (1899), И А Корзухина «Горно - разве-

дочное дело» (1908), Б.В. Бокия «Практический курс Горного искусства» (1914). Однако в самостоятельную научную дисциплину учение о поисках и разведке оформилось, начиная с 1922 г. В вузах страны вводится специальный курс. В Петроградском горном институте его читали К.П. Марков, И.С. Васильев (подготовивший книгу «Разведочное дело», 1929). В 1930 г была организована кафедра поисков и разведки при Московском геологоразведочном институте, а еще раньше (1925) при Свердловском горном институте. В 1940 г вышел капитальный труд В. М. Крейтера «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», рекомендованный в качестве учебника для вузов. Эта книга выдержала четыре издания и стала настольной для нескольких поколений геологов - поисковиков и разведчиков [3].

Научные основы прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых создавались в трудах целой плеяды российских геологов. Здесь следует, в первую очередь, упомянуть имена А.Г. Бетехтина, С.С. Смирнова, В.И. Смирнова, Л.Н. Овчинникова, В.И. Красникова, А.Б. Каждана, В.В. Аристова и др. Среди ученых рассматриваемого направления, чьи имена связаны с Уральской государственной горно-геологической академией, следует отметить А.П. Сигова, П.И. Кутюхина, М.Н. Альбова, П.А. Шехтмана, В.Ф. Мягкова, В.В. Бабенко и др.

3 Основные принципы изучения недр и стадии геологоразведочных работ

Общеизвестно, что земные недра недоступны для непосредственных наблюдений Их можно познавать лишь выборочно на основе изучения естественных или искусственных обнажений. При этом на полноту, достоверность наших представлений во многом влияют особенности геологического строения оцениваемой территории, проявляющиеся в их различной неоднородности, прерывистости.

Методология геологического прогнозирования и поисков базируется на обязательном соблюдении ряда принципов. В их числе - последовательных приближений, аналогии, выборочной детализации (Каждан, 1984). Впервые принципы изучения недр при их разведке сформулированы, а работе В.М. Крейтера (1940).

Принцип последовательных приближений предусматривает необходимость соблюдения правила - «от общего к частному». При этом геологические исследования обычно начинают с изучения крупных потенциально рудоносных территорий, в дальнейшем отбраковывая заведомо неперспективные площади. Лишь после этого целесообразен переход к более детальному изучению с последовательной разбраковкой площади на перспективные и неперспективные участки. Объектами ГП и поисков могут быть металлогенические провинции (площадь более 1×10^6 км²), структурно - металлогенические зоны ($n \times 10^5$ км) рудные районы ($n \times 10^4$, $n \times 10^5$ км²), рудные узлы ($n \times 10^2$ км²), рудные поля ($n \times 10^2$ км²), потенциальные месторождения ($n \times$ км²), рудные залежи ($n \times 0,1$ км²). По мере уменьшения размера перспективных площадей возрастает детальность исследований меняется масштаб поисковых работ. В рамках реализации принципа последовательных приближений геологоразведочный процесс подразделяется на ряд стадий. На каждой стадии последовательно сужаются границы объектов исследований, а детальность изучения объектов при этом возрастает.

Принцип аналогии также относится к числу наиболее значимых. Он проявляется в том, что геологические структуры и заключенные в них полезные ископаемые, сформированные в близких условиях, обладают теми или иными чертами сходства (по условиям залегания строения, состава и т.д.). Это позволяет говорить о подобии свойств объекта-эталона и оцениваемого объекта. По мнению А.Б. Каждана степень подобия минерализованных участков недр зависит как от пространственной их близости, так и от масштаба сравниваемых объектов. Чем меньше их размеры и ближе расстояния, тем большее сходство проявляется между ними. Создание соизмеримых эталонов - аналогов необходимо при решении любых поисковых и разведочных задач.

Принцип выборочной детализации заключается в том, что проведение поисковых и других видов геологоразведочных работ в пределах всего объекта обычно должно сочетаться с выборочными, более детальными работами на отдельных локальных участках. При этом необходимо обеспечить оптимальный выбор эталонных участков. Как эталоны - аналоги эти участки должны быть представительными по отношению ко всему изучаемому объему недр. Чем типичнее окажутся участки детализационных работ, тем полнее будут критерии подобия и меньше погрешности распространения эталонных данных на весь изучаемый объект.

А.С. Вершинин расширяет перечень принципов, влияющих на обоснование методики прогнозно - поисковой оценки территорий, и включает в их число дополнительно следующие:

Принцип народно-хозяйственной целесообразности заключается в ориентации поисковых работ на выявлении крупных месторождений в удаленных и слабо освоенных районах. Поиски здесь должны быть сконцентрированы в основном на близповерхностное залегание объектов. Предпочтение отдается площадям, перспективным на высокоценные полезные ископаемые (золото, платина, алмазы, камнесамоцветное сырье и др.) В освоенных горнорудных районах, где близповерхностные объекты уже освое-

ны, рентабельными к отработке могут оказаться и месторождения относительно небольших масштабов богатых или легко обогатимых руд, располагающихся на глубинах в первые сотни метров.

Принцип соответствия поисковых методов поисковым признакам. Каждый промышленный тип месторождений может быть представлен в виде какой-то физико-геологической модели. При этом залежи полезного ископаемого находят отражение в совокупности минералогических, геохимических и геофизических полей. Частные «сечения» этих полей выступают в ранге поисковых признаков. С глубиной в строении полей большинства месторождений происходят вполне определенные изменения. Это находит отражение как в перечне поисковых признаков конкретных объектов, так и в выбираемом рациональном комплексе поисковых методов. Например, при оценке близповерхностных медноколчеданных месторождений определяющее значение имеют методы визуально-минералогического изучения и опробования рудных выходов зоны окисления. Они сопровождаются аномалиями ЕП, минимумами Rк. Глубокозалегающие объекты успешно выявляются методами ВП, электрического заряда, гидрохимии, атмогеохимическими и др.

Принцип рационального комплексирования методов заключается в необходимости обоснования прогнозно-поисковых комплексов (систем поисковых работ). Эти комплексы разрабатываются для различных стадий (от поисков до оценочных работ) с учетом физико - геологических моделей месторождений ожидаемых промышленных типов и природных условий ведения работ.

Принцип экономической эффективности в современных условиях приобретает особо важное значение. Он заключается в необходимости обоснования минимальных затрат средств и времени на выполнение целевого задания. Это выражается в денежных затратах на выполнение поисковых работ, получивших высокую оценку, в пределах единичной площади сходного геологического строения (10, 100, 1000 км²) или в затратах на

выявление одного рудопроявления или, например, 1000 т прогнозных ресурсов той или иной категории (P_1, P_2, P_3). При этом проведение поисков в пределах площадей с большими значениями прогнозных ресурсов всегда предпочтительнее.

Совокупное влияние сформулированных выше принципов (в первую очередь, последовательных приближений, максимальной целесообразности и т.д.) способствует наибольшей эффективности геологоразведочных работ. Это достигается при определенной последовательности их проведения [6] (таблица 1).

Таблица 1 - Этапы и стадии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые

Этап, стадия	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
1	2	3	4
Этап I. Работы общегеологического назначения Стадия 1 Региональное геологическое изучение недр	Крупные геологоструктурные, экономические, горно-рудные регионы, глубинные части земной коры и т.д.	Создание фундаментальной основы прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение отраслей промышленности систематизированной геологической информацией для решения различных вопросов	Комплекты геологических карт различных масштабов (1:1000000, 1:200000, 1:50000), сводные и обзорные геологические карты м.1:500000 и мельче, комплексная оценка перспектив территорий с выделением рудных районов, узлов, зон, определение прогнозных ресурсов кат. P_3 и P_2
Этап II Поиски и оценка месторождений Стадия 2 Поисковые работы	Бассейны, рудные районы, поля с оцененными прогнозными ресурсами кат. P_3 и P_2	Геологическое изучение территории поисков, выявление проявлений полезных ископаемых, определение целесообразности их дальнейшего изучения	Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследуемых площадей, выявление проявления полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по кат. P_2 и P_1 , оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей, обоснование целесообразности дальн. работ

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Стадия 3 Оценка месторождений	Проявления полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами Р ₂ и Р ₁	Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений, отбраковка проявлений, не представляющих промышленной ценности	Месторождения полезных ископаемых с оценкой их запасов по кат. С ₂ и С ₁ , а также прогнозных ресурсов кат. Р ₁ по менее изученным участкам, технико-экономическое обоснование промышленной ценности месторождений
Этап III Разведка и освоение месторождений Стадия 4 Разведка месторождений	Месторождения полезных ископаемых с оцененными запасами по кат. С ₂ и С ₁ и прогнозными ресурсами кат. Р ₁	Изучение геологического строения, технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологических условий отработки, технико-экономическое обоснование освоения месторождения, уточнение геологического строения в процессе освоения месторождения на недостаточно изученных участках (фланги, глубокие горизонты с переводом запасов в более высокие категории)	Геологические, гидрогеологические, технологические и другие данные, необходимые для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) освоения месторождения, подсчитанные запасы по кат. А, В, С ₁ и С ₂
Стадия 5 Эксплуатационная разведка	Эксплуатационные этажи, горизонты, блоки, уступы, подготавливаемые для очистных работ	Уточнение полученных при разведке данных для оперативного планирования добычи, контроль за полнотой и качеством отработки запасов	Запасы подготовленных к выемки блоков, исходные материалы для оценки полноты отработки месторождений, уточнения потерь и разубоживания полезных ископаемых

Анализируя содержание таблицы 1, следует подчеркнуть, что она раскрывает условия недропользования, принятые в Российской Федерации и отраженные в законе «О недрах». Одним из основополагающих моментов закона является предоставление недр в пользование в виде **лицензий**. Выделяются различные виды лицензий в зависимости от характера пользова-

ния недрами 1) геологическое изучение недр, 2) разработка месторождений полезных ископаемых, 3) использование отходов горнодобывающего производства и т.д. Помимо этого разрешается предоставление совмещенных лицензий, включающих несколько видов пользования недрами (например, поиски, разведка и добыча полезного ископаемого). Пользование подобными лицензиями производится на условии предпринимательского риска. При этом разработка месторождения может производиться как в процессе геологического изучения, так и непосредственно после его завершения.

Итак, отчетливо проявленная в настоящее время тенденция максимально возможного сокращения сроков оценки минерализованных недр и скорейшего вовлечения открытых месторождений в эксплуатацию является обязательным элементом успешного хозяйствования в условиях рыночных отношений.

4 Систематика объектов прогноза и поисков

Объектом изучения при ГП и поисках являются минерализованные участки земных недр, содержащие скопления полезных ископаемых. Однако сразу обнаружить и оценить в пределах отмеченных участков месторождения полезных ископаемых практически невозможно. Требуется системный подход к изучению недр с учетом иерархии структурных уровней рудоносных площадей [3].

Система прогнозирования полезных ископаемых связана со стадийностью геологоразведочных работ и на современном этапе включает в себя следующие понятия.

Планетарный прогноз (м. 1:1000000 -1:500000 и мельче) - представляет собой обобщение материалов по значительной площади, касающихся закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых. Прогноз включает в себя выделение перспективных территорий в ранге металлогенических провинций.

Региональный прогноз (м. 1:200000 – 1:100000) - выделение в пределах металлогенических провинций новых перспективных зон, рудных поясов, потенциальных рудных районов. Обоснованные региональные аномальные поля представляют собой геологические тела определенной формационной природы. Прогноз включает оценку прогнозных ресурсов по категории P_3 .

Крупномасштабный прогноз (м 1:50000 – 1:25000) - обоснование геологической позиции рудных узлов и потенциальных рудных полей (областей мобилизации, миграции и концентрации рудного вещества). Прогноз завершается оценкой прогнозных ресурсов по кат P_3 .

Детальный прогноз (м 1:10000 – 1:2000) - выделение на картах отдельных перспективных участков, сопоставимых по размерам с площадями рудных полей, месторождений, продуктивных зон (или участков массового отложения рудного вещества), подсчет прогнозных ресурсов по кат $P_2 - P_1$.

Локальный прогноз - осуществляется на стадиях разведки и доразведки месторождений. Включает в себя оценку глубоких горизонтов, флангов известных рудных, прогноз новых скрытых (слепых, погребенных) залежей. Данный вид работ также предусматривает прогнозирование деталей условий залегания, формы, качества, технологических свойств отдельных тел полезного ископаемого. Завершается прогноз оценкой запасов по кат С₂, С₁ и даже в ряде случаев В, А.

Рассматривая все виды геологического прогнозирования в целом (от планетарного до локального), необходимо подчеркнуть их самую тесную связь, взаимообусловленность. Это проявляется в единстве многих геологических предпосылок прогнозирования и признаков, которые нужно учитывать даже при детальном исследовании. Присутствие элементов регионального мышления при локальном прогнозе является обязательным элементом обоснованных геологических построений. В этой связи методологически важным представляется введенное еще в 70-х годах В.В Аристовым понятие о «промежуточных» и «конечных» объектах прогноза и поисков [2].

Промежуточными объектами ГП являются аномальные поля, включающие в себя перспективные площади, зоны, участки с выявленными или предполагаемыми проявлениями *полезного ископаемого* (отвечающими конкретным промышленным типам).

Конечными объектами ГП являются месторождения полезных ископаемых определенных промышленных типов. Однако их практическая (промышленная) значимость может быть доказана только по результатам разведки.

Как уже отмечалось, локализация геологического прогноза осуществляется при проведении поисковых работ. В зависимости от *масштаба* рудных скоплений, качества сырья и других факторов могут быть выделены следующие категории объектов поисков: пункты минерализации, рудопроявления, месторождения.

Пункты (точки) минерализации - это мелкие проявления минерализации, не отвечающие по качественным показателям требованиям к промышленным рудам. **Рудопроявления** - проявления рудной минерализации, которые по своему составу и содержанию полезного компонента удовлетворяют хотя бы минимальным промышленным требованиям к рудам. **Месторождения** - выделяются из числа рудопроявлений, для которых доказано наличие хотя бы одного рудного тела, отвечающего минимальным требованиям промышленности к **отрабатываемым объектам**. На долю месторождений обычно приходится не более 2-7 % от числа выявленных пунктов минерализации и рудопроявлений.

При ГП и поисках исключительно важное значение имеет понятие **промышленного типа месторождений**. Под промышленным типом, по В. И. Красникову, "понимается совокупность геологически однотипных месторождений, определившихся в мировой и отечественной практике как реальные поставщики данного вида минерального сырья". Для большинства полезных ископаемых отмечается значительно больше генетических типов, нежели промышленных. Сказанное необходимо учитывать при ГП, ибо от этого зависит рациональный выбор объектов при проведении поисковых, оценочных и разведочных работ. Практическое значение промышленных типов характеризуется их удельным значением в добыче данного вида сырья. Поэтому отмеченные месторождения принято подразделять **на ведущие** (дающие более 50% мировой добычи), **рядовые** (десятки процентов) и **второстепенные** (добыча из которых измеряется первыми процентами). Промышленный тип месторождений полезных ископаемых - "**это временная категория**, определяемая современным уровнем развития сырьевой базы и накопленным опытом горнодобывающей промышленности" (Красников, 1965). Сказанное подтверждается многочисленными примерами. Рассмотрим лишь один из них, отражающий динамику изменения во времени удельного значения промышленных типов молибденовых месторождений. Так, по Н. А. Хрущеву, известно порядка десяти генетических типов

месторождений молибдена, однако только три из них имеют промышленное значение: залежи шеелит-молибденовых руд в скарнах, кварц - молибден - вольфрамитовые жилы в гранитах и их экзоконтактах, штокверки кварц-молибденовых и кварц-молибден-халькопиритовых руд в малых интрузивах гранитов и гранодиорите. В 1940 г добыча молибдена из жильных месторождений составляла 50 %, в 1960 г. - 15 %, а в 1975 г. - лишь 2 %. Доля же штокверковых месторождений непрерывно увеличивалась 1942 г - 40%, 1960 г - 70 %, 1975 г. - 84 % . Вклад скарновых месторождений все эти годы оставался невысоким (в пределах 6-14 %). Таким образом, жильные месторождения молибдена утратили свое былое промышленное значение за относительно короткий отрезок времени (всего 30-35 лет) [3].

Промышленная ценность месторождения определяется рядом параметров имеющих как геологическую, так и экономическую сущность Геологические оценочные критерии и факторы по своей природе независимы от человека и объективны, экономические же показатели переменны, зависят от степени освоенности территории, уровня инфраструктуры каждого конкретного района и поэтому нередко субъективны. В. И Красников выделяет пять ведущих оценочных параметров, определяющих промышленную значимость оцениваемых объектов: 1 - масштаб месторождений, 2 - качество полезных ископаемых, 3 - продуктивность рудных залежей, характеризующих степень сосредоточения в них запасов полезного ископаемого, 4- горнотехнические условия эксплуатации месторождения, 5 - экономика района месторождения.

По масштабу промышленные месторождения принято подразделяют на уникальные - крупные - средние - мелкие. Уникальные месторождения единичны в мировой практике, но вклад их в экономику отрасли может быть определяющим (например, месторождение золота Витватерсранд). На крупные месторождения, составляющие 7 % от общего количества, приходится 65 % общих запасов. В 23 % средних месторождений сосредоточено 26 %, а в 70 % мелких месторождений - 9 % запасов [3].

По качеству минеральное сырье подразделяется на богатое, рядовое и бедное. Для рудных месторождений главным показателем качества является содержание полезного компонента в руде. Оно не должно быть меньше, чем минимальное промышленное для рассматриваемого типа руд и месторождений. Для расчетов при прогнозировании качественные показатели обычно берутся по данным практики разработки месторождений аналогичного типа. На качество руд влияют содержание вредных примесей, минеральные формы нахождения полезных компонентов, текстурно-структурные особенности руд. Они в совокупности влияют на показатели обогатимости руд (легко-, средне- и труднообогатимые).

Анализ минерально-сырьевой базы свидетельствует, что основная часть запасов и добычи приходится на рядовые и бедные руды (90 и 70 % соответственно). Направленное снижение качества сырья с течением времени и по мере развития горнорудного производства является необратимой тенденцией.

Продуктивность отражает степень концентрирования оруденения в объеме рудного поля, месторождения, а также отдельного тела полезного ископаемого. Принято выражать продуктивность в удельных запасах полезного ископаемого, приходящегося на единицу объема, площади или линейного размера. Степень концентрирования можно оценивать в разных величинах (в метрах, метропроцентах, метрограммах, граммах на 1 м² площади и т.д.), что во многом зависит от формы и условий залегания, оцениваемого рудоперспективного участка. Так, для горизонтальных и пологозалегающих руд пластовой и пластообразной формы продуктивность определяется как количество запасов на единицу площади. Степень концентрации характеризуется отношением площади с кондиционными параметрами к общей площади месторождения. Для крутопадающих тел жильной и жилообразной формы целесообразно оценивать продуктивность на продольных вертикальных проекциях, выражая ее в килограммах на 1 м², метропроцентах, метрограммах. Отношение площадей с кондиционными параметрами к

общей площади рудоносной зоны на проекции представляет собой коэффициент рудоносности. Для штокверковых месторождений и иных залежей объемной, объемно-вытянутой формы продуктивность оценивают в запасах на единицу объема или на 1 м углубки. Степень концентрирования (коэффициент рудоносности) может быть подсчитана как по отдельным рудным залежам, так и для месторождения в целом.

Горнотехнические условия эксплуатации оцениваемого объекта порой решающим образом влияют на стоимость добываемого сырья и, следовательно, его геолого-экономическую оценку. На стадии ГП и поисков они принимаются по аналогии с подобными разрабатываемыми (или разведываемыми) месторождениями. При этом учитываются рельеф местности, мощность перекрывающих пород, сложность формы рудной залежи, выдержанность параметров оруденения, гидрогеологические и инженерно-геологические условия отработки. Наиболее благоприятными считаются условия, позволяющие использовать высокопроизводительные системы разработки открытым способом с минимальным коэффициентом вскрыши и не требующие значительного водоотлива.

Экономика района оцениваемых месторождений характеризуется исключительным разнообразием. Всегда наибольшую ценность при прочих равных условиях представляют потенциально промышленные объекты в промышленно освоенных районах с развитой инфраструктурой (наличие транспортной сети, электрообеспечения, рабочей силы, источников водоснабжения и т.д.). Особенно важно сказанное для месторождений относительно дешевого сырья (железные руды, уголь, стройматериалы и др.), добываемого в больших объемах. В этой связи безусловный интерес представляют исследования, направленные на составление специализированных схем (карт) географо-экономического районирования потенциально рудоносных площадей. На этих картах в изолиниях отражаются суммарные поправочные коэффициенты к существующим оценочным кондициям, что важно учитывать при проектировании и проведении поисковых работ.

Помимо отмеченных, В. И. Красников предлагает при оценке использовать и еще один показатель - **дефицитность** полезных ископаемых, подразделяя их на особо ценные (остро дефицитные), ценные и малоценные. В некоторых случаях конъюнктурные или иные ситуации могут определять острую потребность государства в тех или иных видах минерального сырья, что сразу же влияет на стратегию поисковых и разведочных работ. Например, резкая потребность в свинце в 1941 году вызвала ускоренное освоение Миргалимсайского месторождения, необходимость в никеле - Норильского рудного района. Высокая дефицитность руд вольфрама и олова потребовала усиления поисковых и разведочных работ в Забайкалье, на Дальнем Востоке. В послевоенные годы стратегическое значение приобрела проблема титанового, уранового сырья, что сразу же повлияло на определение направлений поисковых работ [3]. Рассмотрение подобных примеров может быть продолжено.

Контрольные вопросы

- 1 Определение понятий «геологическое прогнозирование», «поиски» полезных ископаемых.
- 2 Место геологического прогнозирования среди других прогностических научных направлений.
- 3 Основные методы геологического прогнозирования.
- 4 Какова основная цель поисковых работ?
- 5 Основные исторические этапы становления и развития дисциплины «Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых»
- 6 Содержание основных принципов изучения недр.
- 7 Подразделение геологоразведочных работ на этапы и стадии.
- 8 Комплекс требований к изученности прогнозных ресурсов категорий P_1 , P_2 и P_3 .
- 9 Требования, предъявляемые к изученности запасов категорий А, В, C_1 и C_2 .

10 Практическое назначение запасов и прогнозных ресурсов полезных ископаемых.

11 Понятие об иерархии структурных уровней минерализованных участков недр.

12 Виды геологического прогноза с позиции системного подхода к изучению недр.

13 «Промежуточные» и «конечные» объекты геологического прогноза.

14 Категории объектов поисковых работ.

15 Отличие понятий «генетический тип» и «промышленный тип» месторождений.

16 Показатели, характеризующие промышленную ценность месторождений.

5 Основы методики геологического прогнозирования и поисков

5.1 Критерии прогнозной оценки

Под **поисковыми критериями** понимают геологические факторы (т.е. движущие силы рудообразующих процессов) определяющие условия нахождения месторождений полезных ископаемых в земной коре. Выявление и анализ отмеченных факторов позволяет сделать выводы о потенциальной возможности образования отдельных полезных ископаемых в конкретной геологической обстановке и, таким образом, существенно локализовать площадь прогноза.

Впервые термин «поисковые геологические критерии» был введен В.М. Крейтером в книге «Поиски и разведка полезных ископаемых» (1940). Позднее понятие «поисковые критерии» отдельными авторами стало обозначаться различными терминами геологические предпосылки (В.И. Смирнов, 1957), критерии прогнозной оценки или критерии прогнозирования (работники ВСЕГЕИ), критерии потенциальной рудоносности или предпосылки рудоносности (А.Б. Каждан, 1984). Очевидно, что использование всех упомянутых терминов правомерно [5].

Обоснование критериев прогнозной оценки проводится на основе выявления и исследования рудоконтролирующих факторов, отражающих возрастные, вещественные и пространственные связи между оцениваемыми геологическими объектами и их потенциальной рудоносностью. Возрастные связи находят свое отражение в стратиграфическом критерии, вещественные - в литолого-фациальном, магматическом, геохимическом, формационном, пространственные - в структурно-тектоническом, геоморфологическом критериях.

Критерии прогнозной оценки следует ранжировать, подразделяя их на **региональные**, проявляющиеся на значительных площадях, и **локальные**. Учет первых особенно важен как при проведении региональных геолого-

разведочных работ, так и крупномасштабном геологическом изучении территорий. Роль вторых существенно возрастает при разведке месторождений, их флангов и глубоких горизонтов.

Для конкретных промышленных типов месторождений целесообразно подразделение месторождений на **главные** (ведущие) и **частные** (второстепенные). Первые определяют геологическую позицию большинства месторождений данного типа, а вторые лишь их часть. Значение одних и тех же критериев может быть различным для месторождений отдельных типов. Для одних - они могут быть ведущими, для других - второстепенными, для третьих - вообще не иметь значения.

Важно учитывать и систематизировать не только положительные, **но и отрицательные факторы** рудогенеза. Отрицательная оценка, если она убедительно обоснована и правильна, не менее важна в методическом отношении, нежели положительная, поскольку позволяет существенно локализовать площади прогноза и рекомендации к постановке поисковых работ.

5.1.1 Стратиграфический критерий

Стратиграфический критерий основан на устойчивых связях полезных ископаемых с определёнными частями стратиграфического разреза. Он играет нередко определяющую роль при поисках месторождений экзогенного генезиса. Значение данного фактора при прогнозировании эндогенного оруденения также велико, однако до недавнего времени оно явно недооценивалось. Изменение представлений во многом связано с вовлечением в сферу промышленного освоения обширной группы месторождений, приуроченных к стратифицированным комплексам, а также с признанием важной роли фактора времени при образовании гидротермальных месторождений.

Приуроченность тех или иных полезных ископаемых к определенным

частям стратиграфического разреза вызвана, по В.Н. Козеренко, двумя основными факторами необратимым характером эволюции геологических процессов и их цикличностью. Неодновременное и локальное чередование сходных геологических процессов в разных участках земной коры определяет еще одну важную закономерность, заключающуюся в разновременном возникновении генетически однотипных полезных ископаемых в разных регионах. Все это следует учитывать при прогнозной оценке территорий (в первую очередь, при проведении региональных исследований).

Особого рассмотрения всегда заслуживают геологические эпохи наиболее благоприятные для накопления тех или иных полезных ископаемых. Так, достаточно специфическими полезными ископаемыми докембрия являются железистые кварциты и джеспилиты, заключающие основные запасы железных руд на территории бывшего СССР (месторождения Курской магнитной аномалии, Кривого Рога, Кольского полуострова и др.). Все остальные эпохи накопления железа (ранний кембрий, ранний и поздний силур, карбон, юра - мел, олигоцен), вместе взятые существенно уступают докембрийской. Широкое развитие железистых кварцитов в докембрии объясняют меньшей соленостью и более высоким содержанием углекислоты в водах древних морей. Это способствовало миграции железа в удаленные зоны морей, где оно накапливалось в глубоководных кремнистых фациях. Существенная роль в миграции железа могла принадлежать свободному кислороду, который появился в атмосфере в докембрийское время и определил отличие этих обстановок железнакопления от более поздних.

Рассматривая историю галогенеза Земли, выделяют три крупных этапа докембрийский, палеозойский и мезозойский. Если докембрийский характеризуется либо отсутствием, либо весьма слабым развитием процессов соленакпления, то палеозойскому свойственны масштабные их проявления в разнообразных фациальных типах. Наиболее интенсивно галогенные формации формировались в пределах крупных внутриконтинентальных соленых морей пермской эпохи в условиях аридного климата (конец нижней

- начало верхней перми). На этом отрезке времени крупные по масштабу месторождения калийных и каменных солей возникли на востоке Русской платформы, в Западно-Германской впадине, в южной части Северо-Американской платформы. В мезозое и кайнозое соленакопление протекало уже не столь масштабно и проявилось себя на отдельных территориях в триасе, верхнеюрскую, верхнемеловую эпохи и в неогене.

Ведущее значение стратиграфического критерия при региональной прогностической оценке угленосности площадей проявляет себя еще более отчетливо. Еще в 30-е годы академиком П.И. Степановым было обращено внимание на периодичность процессов угленакопления, когда максимумы и минимумы накопления растительной массы закономерно чередовались во времени [3]. Впервые промышленная угленосность проявлена в разрезах позднего девона-раннего карбона. Это обстоятельство рядом исследователей рассматривается как следствие активной вулканической деятельности в предшествующие эпохи, приведшей к накоплению в атмосфере Земли избыточных концентраций углекислоты (что в условиях благоприятного климата способствовало процессам фотосинтеза обильно произраставшей растительности). Следующие максимумы угленакопления приходятся на пермь, юру, мел, палеоген-неоген. Характерно пространственное перемещение центров угленакопления, отмеченное И. И. Горским. Так, на территории бывшего СССР карбоновое угленакопление наиболее характерно для западных провинций (до меридиана г. Иркутска). Пермская угленосность начинается слабыми проявлениями в Предуралье и интенсивным - в Печорской, Кузнецкой и Тунгуской провинциях, затухая в Приморье. Накопление нижнемезозойских углей слабо проявлено в средней полосе Европейской части и несколько интенсивнее в Кавказско - Прикаспийской области. Однако наиболее мощные залежи углей этого возраста свойственны центральному (Канский, Иркутский, Улугхемский бассейны) и восточным районам Сибири (Южно-Якутский бассейн). Верхнемезозойское угленакопление начинается слабыми проявлениями в Восточно - Уральской провинции и

доходит до Тихого океана. Однако зоной наиболее интенсивных проявлений этой угленосности является Ленский район.

В полной мере важное значение стратиграфического критерия проявило себя при переоценке перспектив россыпной золотоносности Урала. Поисково-геоморфологические исследования были нацелены на картирование древних золотоносных рыхлых отложений, поскольку россыпи четвертичного возраста оказались к тому времени практически выработанными. В основу выполненных работ был положен историко-геоморфологический принцип, ориентирующий геологов на выделение, прослеживание разновозрастных поверхностей выравнивания, речных систем и «мертвых» логов различных эпох. В изученном разрезе мезозоя и кайнозоя Урала, насчитывающем до 16 - 18 стратиграфически обособленных горизонтов, россыпесодержащими являются лишь некоторые из них. Отмеченные металлоносные отложения имеют характерный литологический состав, особенности цветовой окраски (сероцветы, красноцветы, белоцветы, пестроцветы и т.д.).

Можно привести и многочисленные другие примеры, раскрывающие широкий возрастной диапазон и генетическое разнообразие экзогенной минерагении разных эпох в пределах уральского региона. Так, по данным А. П. Сигова и В. С. Шуба с определенными геологическими формациями докембрия связаны месторождения магнетитов, сидеритовых, россыпей титановых минералов, с формациями среднего-верхнего девона - бокситов, оолитовых железных руд, промежуточных разновидностей благородных металлов и алмазов, с нижневизейской угленосной формацией - месторождения углей; с нижнепермской молласовой формацией - медистых песчаников, промежуточных коллекторов золота [3]. Еще более разнообразна экзогенная минерагения мезозоя и кайнозоя, где в определенных горизонтах разреза морских и континентальных образований присутствуют промышленные скопления оолитовых и бобово-конгломератовых железных руд, бурых углей, силикатного никеля, бокситов, россыпей благородных металлов, алмазов и камнесамоцветного сырья, каолиновых и кирпичных глин, формовоч-

ных и строительных песков и т.д.

Использование стратиграфического критерия возможно и при прогнозировании эндогенного оруденения различных типов. Так, при поисковой оценке площадей интерес могут представлять выявленные при геологическом изучении разрезов зоны контактов, стратиграфических несогласий, отражающие региональные перерывы, а также отдельные благоприятные для рудоотложения горизонты пород. Рассмотрим некоторые примеры.

Формирование стратиформных месторождений свинца и цинка, приуроченных к определенным частям разреза карбонатных толщ, обычно начинается с формирования убогих сингенетических осадочных (вулканогенно-осадочных) концентраций. Сам процесс рудообразования обусловливается деятельностью горячих минерализованных вод, является уже более поздним, эпигенетическим. Одним из крупнейших объектов подобного типа являются месторождения хребта Каратау, в их числе – Миргалимсайское. Рудные тела пластообразной формы представлены здесь рядом залежей, приуроченных к так называемому «ленточному» горизонту в толще карбонатных пород средней части разреза фамена. Горизонт сложен доломитами и известняками с тонкослоистой, иногда массивной текстурой. Основными рудными минералами промышленных залежей являются галенит, сфалерит, пирит, а нерудными - доломит, кальцит, барит, анкерит, кварц и др. Процессы рудообразования протекали синхронно с доломитизацией, баритизацией карбонатных пород. Рудный пласт, полого выходящий на поверхность в отдельных блоках рудного поля, окислен до глубины в 50 м. На выходах в зоне окисления отмечено выкрашивание церуссита, что привело к уменьшению объема залежи и ее «захлопыванию» (механическому соединению пород кровли и почвы). Поэтому при проведении поисковых и разведочных работ геологи вначале отслеживали (вскрывали канавами) позицию рудоконтролирующего шва, а уже позднее с учетом результатов задавали скважины.

Подобного типа приуроченность полиметаллического оруденения к

определенным частям стратиграфического разреза установлена и для ряда месторождений Рудного Алтая, Восточного Забайкалья.

Важное значение в размещении некоторых типов эндогенного оруденения имеют отчетливо стратифицированные горизонты непроницаемых экранирующих пород. Примеры подобных месторождений многочисленны. Среди них сурьмяные (рисунок 1) и ртутные (рисунок 2), флюоритовые месторождения Средней Азии, Горного Алтая, золоторудные (Куранах, Алдан), урановые и т. д. [3].

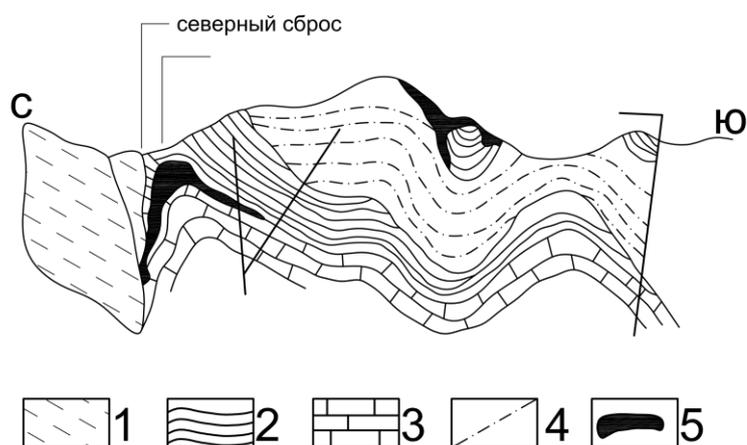


Рисунок 1 – Локализация сурьмяного оруденения под экраном слабопроницаемых пород месторождения Кадамжай (по В.И.Смирнову)

1 – песчано-сланцевые отложения силура; 2 – глинистые сланцы с прослоями песчаников нижнего девона; 3 – песчаники курайской свиты; 4 – диориты; 5 – рудные тела; 6 – вероятные пути движения рудоносных растворов

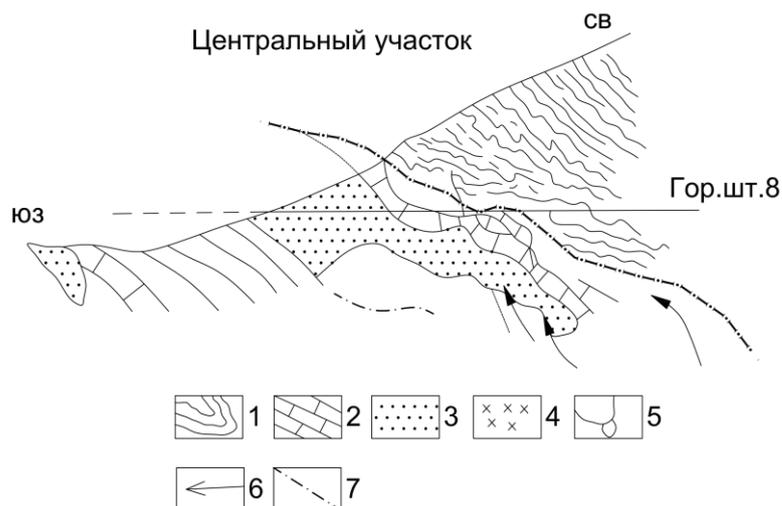


Рисунок 2 – Размещение ртутного оруденения в зоне дробления под сводовой поверхностью надвига (месторождение Акташское, по В.И. Смирнову)

1 – метаморфические сланцы нижнего кембрия; 2 – известняки кембрия - ордовика; 3 – песчаники курайской свиты; 4 – диориты; 5 – рудные тела; 6 – вероятные пути движения рудоносных растворов; 7 – тектонические нарушения

На необходимость учета фактора времени при формировании гидротермальных месторождений обращает внимание Д.В. Рундквист (1997) [9]. При обобщении материалов по золоторудным месторождениям России им сделан вывод о необходимости изучения периода подготовки формирования рудных концентраций для понимания масштабов рудоносности и выделения эволюционных серий. Образование любого месторождения следует рассматривать на общем фоне всех геологических событий, запечатленных в структурах земной коры. Поэтому объектом изучения должны быть не только этапы и стадии минерализации (на которые мы обращаем внимание при исследовании вещественного состава руд), но и геологические матери-

алы, позволяющие обосновать эпохи и периоды рудогенеза (подготовки, собственно рудогенеза, преобразования месторождений). Анализ месторождений с позицией признания их длительного формирования на фоне меняющихся геодинамических обстановок позволяет объективно подходить к проблеме систематики рудных объектов, выделения их эволюционных серий, последовательности развития парагенезисов, что так важно при геологическом прогнозировании.

5.1.2 Литолого - фациальный критерий

Основан на использовании тесной связи полезных ископаемых с осадочными, вулканогенно-осадочными породами определенного литологического состава и фациальной принадлежности. Эти факторы контролируют размещение в первую очередь экзогенных полезных ископаемых. Однако достаточно значимо их влияние и при прогнозировании эндогенных месторождений. Научное обоснование рассматриваемого критерия нашло отражение в работах А.Д. Архангельского, Н.М. Страхова, А.Г. Бетехтина, Н.С. Шатского, Л.В. Пустовалова, Л.Б. Рухина, П.П. Тимофеева и многих других.

В основе изучения осадочных толщ лежит литолого-фациальный анализ. Он базируется на выявлении многочисленных генетических признаков, определяющих природу изучаемых пород. Знание строения, состава и генезиса отложений является той базой, которая определяет расшифровку направленности, интенсивности также и постседиментационных литогенетических процессов. Совокупный учет седиментогенных и литогенетических факторов позволяет понимать механизм рудообразования, прогнозировать вероятные обстановки накопления полезных ископаемых.

Осадочный процесс, по Н.М. Страхову, в зависимости от палеогеографической обстановки, может быть подразделен на четыре типа: 1) ледовый, 2) гумидный, 3) аридный, 4) эффузивно-осадочный. Отмеченные типы литогенеза различаются источниками осадочного материала, формами его пе-

реноса и отложения, скоростями седиментации, вещественным составом и характером строения осадочных толщ, текстурами и структурами пород и, что самое главное, связанными с ними полезными ископаемыми.

Одним из наиболее продуктивных типов литогенеза является гумидный, протекавший в морях, озерах, а также на водосборных площадях. Этот тип седиментации приурочен к зонам с постоянным обилием влаги, высокой среднегодовой температурой (от 1-2 до 23- 25°). Помимо чисто механических процессов, здесь доминируют химические, физико-химические и биологические. Осадочный материал возникает при выветривании и денудации континентальных площадей. Осаждение переносимого материала происходит не только в реках, но, главным образом, в конечных водоемах стока (морях, озерах). В этой связи возникновение наиболее масштабных концентраций ряда элементов: железа, марганца, алюминия, фосфора, углей и горючих сланцев, кремнезема и т. д. происходит в периферийной зоне морей, а также в корях выветривания пенепленизированных областей континентов (железные руды, бокситы, каолины) и продуктах их ближнего переотложения (россыпи золота, платины, алмазов, руды алюминия, железа и т.д.) (рисунки 5) В размещении руд отмеченных полезных ископаемых наблюдается достаточно отчетливая латеральная зональность. Так, угли возникали в опресненных лагунах, прибрежных болотах и дельтах; бокситы - в озерах и прибрежной зоне шельфа; железные руды - там же, но несколько дальше от берега; марганцевые руды и фосфориты приурочены к мелководному шельфу, но в большем удалении от берега, горючие сланцы, кремнистые породы - к глубоководному шельфу и началу континентального склона и т.д. Важно подчеркнуть, что в условиях аридного типа седиментогенеза как характер полезных ископаемых, так и их размещение уже существенно иные.

Установлено, что в современных внутриконтинентальных морских бассейнах процесс седиментогенеза протекает неодинаково и прежде всего определяется различиями в тектоническом положении зон осадконакопле-

ния. В соответствии с современными плитотектоническими представлениями внутренние моря подразделены на типы: спрединговые, коллизионные, постколлизионные и эпиплатформенные.

Типичный спрединговый бассейн - Красное море - линейно вытянутый водоем с центральной рифтовой долиной, является осью спрединга. В центральной части бассейна отмечено сочетание осадочных образований и вулканических пород. Позднечетвертичные отложения представлены биогенными и хемогенными известковыми образованиями с примесью обломочного материала вулканического происхождения. В данных отложениях широко развиты рудные образования, связанные с гидротермальной деятельностью.

В коллизионных бассейнах (участки Средиземного, Черного и Каспийского морей) характерной чертой осадконакопления является широкое развитие отложений глубоководных конусов выноса. Они образуют вытянутые вдоль подножий континентальных склонов осадочные пояса, где наблюдается сложное сочетание различных генетических типов отложений (мутевых потоков, пелагических взвесей и т.д.). Минералогический состав терригенных отложений соответствует слабо измененным породам складчатых областей.

В постколлизионных бассейнах (Персидский залив, Азовское море, Средний Каспий) осадочному процессу свойственна зональность, определяемая различным строением их прискладчатых и платформенных бортов. В прискладчатых участках относительно мелководных морей отмечены высокие скорости накопления терригенных отложений. Их состав отражает особенности материнских пород складчатых областей. На платформенных бортах накапливаются маломощные отложения с широким спектром мелководных фаций.

В эпиплатформенных бассейнах (Белое, Балтийское, части Черного, Каспийского, Средиземноморского морей) вследствие их мелководности осадочный процесс прерывист во времени. Различные условия осадкона-

копления определяют широкое фациальное разнообразие формирующихся отложений. Минералогический состав их отражает развитие на водосборных областях зрелых пород, в разной степени измененных процессами выветривания.

Велико значение **литологического контроля** в размещении эндогенного оруденения. Здесь определяющее значение приобретают физические и химические свойства рудовмещающих пород. Физические свойства определяются вещественным и гранулометрическим составом, структурно-текстурными особенностями пород. Именно они влияют на хрупкость-пластичность рудовмещающей среды, ее пористость, проницаемость для растворов. Известно, что хрупкие породы (известняки, кварциты, песчаники и т.д.) легко растворяются с образованием открытых полостей, куда устремляются рудоносные растворы. Плотные же породы (глинистые и слюдястые сланцы, филлиты и др.) представляют собой среду, неблагоприятную для трещинообразования. Поэтому при переслаивании пластичных и хрупких, пористых и плотных пород почти всегда проявляет себя избирательная локализация оруденения. Если пласты пород резко различаются по физико-механическим свойствам, то при их деформации в ядрах складок и в местах флексурных изгибов моноклиналей могут появляться полости отслаивания, способствующие формированию рудных тел (в том числе, седловидной формы). Не менее важный фактор литологического контроля рудоносности - химические свойства пород. Их принято подразделять на химически активные и инертные. Степень благоприятности пород для рудоотложения зависит от их растворимости, наличия в них элементов, необходимых для образования новых минералов, способности породообразующих минералов к замещению и т.д. Вследствие этого в объеме разнородных пород происходит дифференциация минеральных видов, отражающая своеобразие минералоотложения в зависимости от состава среды.

Многочисленны примеры, характеризующие приуроченность отдельных типов руд к породам определенного состава. Так, в месторождениях

Южного Урала, колчеданные руды избирательно замещают вулканогенно-осадочные породы смешанного состава (туфы, туфобрекчии, известняковые конгломераты), но не затрагивают известняков и долеритов. Для Карамарской рудной долины установлено, что для отложения свинцово-цинковых руд наиболее благоприятно сочетание в породе карбонатных и алюмосодержащих составных частей примерно в равных соотношениях для галенита и со значительным преобладанием карбоната - для сфалерита. По простиранию одного из рудоносных разломов, пересекающего разные комплексы пород, наблюдалась закономерная смена состава минерализации: в известково-аркозовых конгломератах - преимущественно галенитовая, в известняках - сфалеритовая, в гранодиоритах и дацитовых туффитах - арсенипиритовая, в порфиритах - пиритовая.

Большое влияние на размещение рудной минерализации оказывают дорудные изменения, существенно меняющие химический состав среды рудоотложения. Особенно важную роль в процессах замещения играют карбонаты, оказывающие осаждающее влияние на многие рудные компоненты растворов (железо, вольфрам, свинец, цинк, серебро) и, наоборот, способствующие сквозному прохождению в растворах золота, меди. Важным фактором является учет состава не только вмещающих, но и подстилающих пород. Взаимодействуя с этими породами, восходящие растворы меняют состав и концентрацию, могут обогащаться рудными и петрогенными компонентами. Эта закономерность характерна для Рудного Карамара, где имеет место четкая связь между типом стратиграфолитологического разреза и характером оруденения в вулканических породах верхнего палеозоя. В тех случаях, когда на глубине присутствуют карбонатные породы палеозоя, в вулканитах размещаются месторождения полиметаллов, а там, где вулканиты залегают на гранитах среднекарбонового возраста - медно-висмутовые.

5. 1.3 Магматический критерий

Магматический критерий отражает закономерную связь полезных ископаемых (генетическую, парагенетическую с магматическими породами (интрузивными, субвулканическими)) определенного состава и возраста. Критерий является ведущим для широкого перечня полезных ископаемых. Особенно велико его значение при региональном крупномасштабном геологическом прогнозировании, задачей которого является обоснование границ рудных узлов, районов и рудных полей.

Роль магматического фактора в формировании полезных ископаемых чрезвычайно многогранна. В частности, она проявляется:

- в генетической связи значительной группы полезных ископаемых с магматическими породами определенного состава, формационной принадлежности;

- в зависимости характера, масштаба рудных скоплений от условий формирования магматитов, их возраста, размеров, формы и характера залегания;

- в зональном размещении месторождений и проявлений различного состава относительно центров магматических очагов, экзоконтактовых частей крупных магматических тел и т. д.

Примеры.

В качестве ведущего фактора при анализе рудоносности магматических комплексов обычно выступает состав слагающих их пород. Так, практикой разведочных и эксплуатационных работ убедительно доказана связь с породами **ультрасновного состава** (дунитами, перидотитами, пироксенитами) промышленных скоплений никеля, хрома, минералов платиновой группы, с магматическими породами **основного состава** складчатых областей - залежей титано-магнетитов, а платформ - сульфидных медно-никелевых месторождений. В отдельных случаях рудоносность магматитов коррелируется с повышенными кларками элементов. Так, наиболее высокие концентрации

никеля свойственны гипербазитам и базитам. Именно с этими породами связано более 80 % мировых запасов никеля. Содержание отмеченного элемента в диоритах и гранитах гораздо ниже. К полям развития магматических пород **среднего и кислого состава** тяготеют многочисленные месторождения гидротермально-метасоматического, скарнового генезиса, пегматиты. Они включают в себя месторождения вольфрама, молибдена, меди, свинца, цинка, мышьяка, золота и др. С лейкократовыми гранитами связаны объекты, содержащие олово, вольфрам, молибден, бериллий, уран и т.д.; с породами **щелочного состава** - нефелиновыми сиенитами, карбонатитами и др.) - месторождения цинка, ниобия редких земель, стронция, бария, фтора и др.

Однако не только состав магматических пород определяет их потенциальную рудоносность, но и прочие особенности - геологическая позиция, геодинамические условия становления и т.д. Учет их необходим при формационном подразделении магматических пород и выделении потенциально рудоносных комплексов. Так, рудоносность магматических формаций определяется не только исходной специализацией пород, но и характером последующего развития ведущего к перераспределению исходного полезного компонента или, наоборот, его рассеиванию. Например, с щелочными и щелочно-карбонатитовыми формациями Урала позднеордовикского возраста связана редкоземельная тантал-ниобиевая минерализация, с габбро-гранитной габбро-сиенитовой и монцогаббро-сиенитовой формациями позднесилурийско - среднедевонского и позднедевонско-раннекаменноугольного возраста - скарново-железородные месторождения, с гранодиорит-гранитной формацией раннего карбона в крупных перидотитовых поясах шовных зон - хризотил-асбестовые месторождения баженовского типа, с гранодиорит-гранитной и адамелит-плагиогранитной формациями раннекаменноугольного возраста в крупных сиалических блоках - золоторудные месторождения, с монцонитоидными и монцодиорит-гранитовыми порфиоровыми формациями раннего-среднего карбона: - мед-

но-молибден-порфиновые проявления, с гранит-лейкогранитовой формацией раннемезозойского этапа тектоно-магматической активизации - молибден вольфрамовые и бериллий-вольфрамовые проявления и месторождения.

Особо важное значение в формировании оруденения региона имеют породы гранитоидных формаций. Г.И. Самаркиным (1996) рассмотрены разновозрастные серии гранитовое Южного Урала с позиции мобилизма и тектоники плит. Выделено два цикла гранитообразования нижнепалеозойский (отвечающий каледонскому тектоно-магматическому циклу) и средневерхнепалеозойский (соответствующий герцинскому). Эволюция последнего цикла определяла последовательное развитие **геодинамических обстановок** в пределах активной континентальной окраины, включающих режимы - аккреционный, надсубдукционный, предколлизийный, рифтогенный коллизийный (оротектонный) посторогенный квазиплатформенной активизации. Каждый из них сопровождается развитием своих гранитоидных серий. От раннего этапа к позднему отмечается повышение щелочности и кремнекислотности гранитоидных пород. Происходит изменение и их металлогении - от медного и медно-полиметаллического оруденения к золото-медному, золотому, золото-редкометалльному [9]. Особый интерес, в плане минерагии, имеют самостоятельные малые интрузии. Их становление было двухэтапным Ранние, добатолитовые, ранне-среднекаменноугольные - завершают предколлизийный рифтогенез. Представлены телами и дайками габбро, габбро-долеритов, диоритов, диоритовых порфиритов, кварцевых диоритов, гранит - порфиритов и т.д. Сопровождаются золотом, медно-порфиритовым, полиметаллическим и иным оруденением. Поздние малые интрузии, постбатолитовые, проявили себя на временном отрезке, начиная со среднего карбона по пермо-триас. Характеризуются дайкообразной, реже штокообразной формой. В их составе преобладают калиево-натриевые лейкограниты и гранит - порфиры, реже гранодиорит-порфиры, граносиенит-порфиры. Для некоторых из них характерны широко проявленные процес-

сы грейзенизации. С отмеченными малыми интрузиями связано молибденовое (висмут-вольфрам-молибденовое), полиметаллическое, золото-серебряное, золотое (золото-шеелит-кварцевое, золото-тридимит-кварцевое) оруденение.

5.1 4 Структурно - тектонический критерий

Критерий также относится к числу ведущих и используется при прогнозировании как эндогенных, так и экзогенных полезных ископаемых. При его рассмотрении следует выделять региональные структурные элементы, контролируемые размещение рудных районов, узлов и отдельных месторождений, и локальные, определяющие геологическую позицию отдельных рудных тел, залежей, рудных столбов и т.д.

Региональный структурный критерий

К числу универсальной следует отнести закономерность, заключающуюся в локализации разнотипного эндогенного оруденения в зонах сочленения блоков земной коры, различающихся по режиму тектонического развития, характеру слагающих их геологических образований, времени консолидации, типу строения земной коры. Сказанное выражается в преимущественном размещении месторождений в краевых частях или обрамлении кристаллических щитов, срединных массивов, блоков ранней консолидации, а также в зонах сочленения контрастных структурно-формационных зон, в блоках с резко проявленной формационной неоднородностью разреза и т. д.

Региональные структуры не на всем протяжении являются благоприятными для локализации оруденения. Промышленные скопления полезного ископаемого (в ранге рудных полей, месторождений) возникают только в отдельных их частях, где имеет место оптимальное сочетание совокупности геологических факторов (структурных, магматических, литологических и

т.д.). В работах В.М. Крейтера, Ф.И. Вольфсона и др. определены некоторые типовые структурно-геологические позиции, благоприятные для локализации рудных полей различных типов эндогенных полезных ископаемых [9]. Среди них участки изгибов сводов антиклинальных структур, включающие не только места изменения направлений осей крупных складок по простиранию, но и периклинального замыкания, а также осевые области антиклиналей. Именно в этих зонах породы нередко подвергаются интенсивному дроблению с возникновением полостей отслаивания, срывов вдоль плоскостей напластований и т.д.

Места изгибов крупных разломов по простиранию могут в силу максимального напряжения приводить к приоткрыванию старых и образованию новых систем трещин. Для большинства рудных районов история развития рудовмещающих разломов представляется длительной и сложной. Она сопровождается обычно внедрением вдоль зон смятия многофазных интрузий и даек. Многие глубинные разломы Урала Главный Уральский глубинный, Серовско-Маукский, Сугомакско-Кацбахский, Верх-Исетский и другие подтверждают сказанное.

Участки пересечений разломов различного направления нередко имеют рудоконтролирующее значение. Важнейший аспект при этом - различный возраст тектонических нарушений. На участках пересечения разновозрастных и разноориентированных глубинных разломов нередко возникают локальные зоны, характеризующиеся аномально высокой магматической и энергофлюидопроницаемостью. Они часто насыщены штоками, малыми интрузивными телами (также разновозрастными) и благоприятны для размещения рудных полей. Именно к участкам пересечений древних тектонических нарушений широтной и косоширотной ориентировки (так называемых трансрегиональных разломов) с меридиональными приурочены многие рудные объекты на Урале. Они являются важнейшим элементом при региональном геологическом прогнозе.

Места отщеплений боковых разрывных нарушений, оперяющие круп-

ные разломы, участки разветвления крупных разломов на несколько направлений, области пересечения разломами благоприятных горизонтов пород - представляют собой зоны и области, нередко вмещающие рудные поля и отдельные месторождения.

Локальный структурный критерий

Контролирует размещение месторождений в пределах рудных полей, рудных тел уже в объеме месторождений, рудных столбов внутри рудных тел. Применительно к прогнозированию различных типов месторождений (магматических, гидротермальных, вулканогенных, осадочных и т.д.) этот критерий проявляет свои особенности. Содержание критерия подробно рассматривается в дисциплине «Структуры рудных полей», изложено в многочисленных учебных пособиях и монографиях. Остановимся лишь на некоторых положениях.

Для месторождений магматического генезиса ведущую роль играют сами структуры интрузивов. Здесь могут быть выделены структуры расслоения, образующиеся под влиянием как внутренних (контракционных), так и внешних (тектонических) причин. Так, процессы расслоения магмы приводят к образованию стратифицированных интрузивов. Для раннемагматических и ликвидационных месторождений важное значение могли иметь плоскостные структуры течения, вдоль которых нередко располагаются рудные скопления и шпильки.

Для гидротермальных месторождений (постмагматических, метаморфогенно-гидротермальных) характерно исключительное многообразие рудовмещающих структур, определяющих форму, размеры, особенности строения залежей. В.М. Крейтером предложено выделять следующие группы рудовмещающих структур [9]:

- рудные тела в согласных структурах слоистых толщ (залежи в шарнирах складок и флексурах, в зонах межпластовых срывов и дробления, в пластах благоприятных пород, под непроницаемыми экранами);
- рудные тела в секущих структурах (залежи в зонах надвигов, сбросов)

сов, сдвигов и т. д.);

- рудные тела в структурах контактов изверженных пород (рисунок 3).

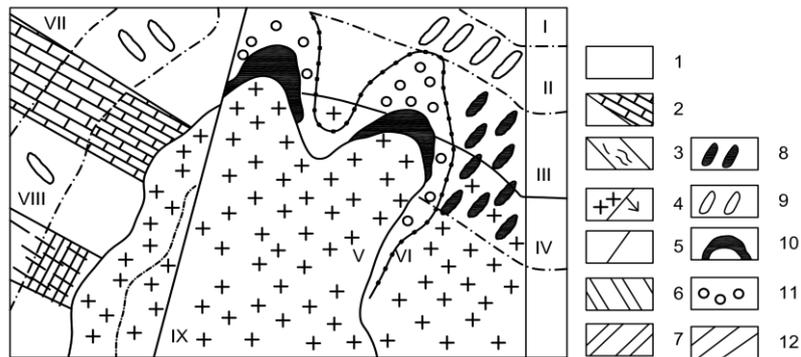
Рассматривая вулканогенные структуры различных типов месторождений, Г.Ф. Яковлев (1982) предлагает их разделять на:

1 Структуры внутриэффузивных зон - протоэффузивные структуры.

2 Структуры жерловых-прижерловых зон: а) вулканогенные жерла; б) вулканические купола (лавовые, экструзивные и др.); в) локальные вулканические биклинали; г) локальные вулканогенно-депресссионные структуры; д) секторные вулcano-тектонические блоки.

3 Структуры субвулканических зон - экзококтактовые и эндогенные зоны субвулканических и гиповулканических тел.

Разбирая структурно-тектонические факторы рудогенеза, нельзя не остановиться на **концепции тектоники литосферных плит** (или плитотектоники), которая взята на вооружение большинством геологов при металлогеническом районировании и прогнозировании. Концепция возникла в 60 – 70-е годы прошлого столетия в связи с изучением современных океанов и периокеанических областей. Ее основные положения рассмотрены в многочисленных работах как зарубежных геологов (Дж. Уилсон, Дж. Дьюн, Д. Кариг и др.), так и отечественных (В.Е. Хайн, А.И. Монин, П.П. Зоненшайн, А.С. Перфильев, А.А. Ковалев, В.А. Коротеев, В.М. Нечуехин и др.) [9]. Эта теория возникла в связи с тем, что накопленные новые фактические данные уже нельзя объяснить, базируясь лишь только на представлениях «классической» металлогении.



1-3 – рудовмещающие толщи: глинистые сланцы (1), известняки (2), углисто-глинистые сланцы (3); 4 – массив гранодиоритов (а) и прорывающие его штоки аляскитовых гранитов (5), 5 – магмо- и рудоподводящий разлом, 6 – 11 – рудные тела различных морфоструктурных типов: 6 – шеелитоносные скарны, 7 – оловорудные гнейсы, 8 – редкометальные пегматиты, 9 - полисульфидные жилы, 10 – редкометальные апограниты; 11 – редкометальная минерализация, 12 – рудоконтролирующие поверхности: I – внешний контур проявления контактового метаморфизма, II – граница распространения экзоконтактовых метасоматитов, III – поверхность гранитоидного массива, IV – внутренний контур распространения экзоконтактовых изменений, V - поверхность штоков аляскитовых гранитов, VI – зона распространения экзоконтактовых изменений в связи с внедрением аляскитивов; VII – поверхность висячего блока известняков, VIII – то же, горизонта углисто-глинистых сланцев, IX – то же, кровли апогранитов

Рисунок 3 – Закономерное размещение оруденения в месторождениях контактового типа (по В.П. Федорчуку).

Упомянутыми выше исследователями утверждается, что в формировании большинства слагающих континенты структур (в том числе орогенно-складчатых поясов) проявили себя гигантские процессы тектонического сближения и скупивания в условиях субдукции, аккреции и коллизии.

Отправным моментом концепции плитотектоники является положение о разделении земной коры и литосферы на системы континентальных и океанических плит, подверженных значительным горизонтальным перемещениям. Они происходят под влиянием движений глубинных масс и выделяемой при этом энергии. Концентрация эндогенной энергии и процессов проявляет себя преимущественно в узких зонах как на расходящихся, так и сходящихся границах литосферных плит, что сопровождается субдукцией, обдукцией, эдукцией. Масштабные геодинамические процессы проявляются и во внутренних частях плит. Они имеют место или вблизи их границ (деструкция краев), или в связи с воздействием активизированной мантии или земной коры в каких-либо локальных зонах. Реакцией на проявленные геодинамические режимы является возникновение систем обстановок, характеризующихся определенными структурно - формационными комплексами и связанными с ними конкретными полезными ископаемыми.

Металлогенический анализ с позиции тектоники плит базируется на учете ряда принципиальных положений. В этой связи могут быть выделены разные типы складчатых систем, различающиеся по геодинамическим условиям формирования. К одному из них (первому типу) относится уральский пояс, образовавшийся в рамках **полного геодинамического цикла** (или цикла Уилсона). Подобного рода пояса (Урало - Тяньшанский, Алпалачско - Скандинавский и др.) занимают межплиточное положение, имеют значительную протяженность. Для упомянутого цикла характерно последовательное проявление геодинамических обстановок на расходящихся и сходящихся границах континентальных и океанических плит. Принято выделять структурно-металлогенические зоны, исходя из формирования слагающих их пород в следующих геодинамических режимах: 1- континентального рифтогенеза, 2 -

океанического спрединга, 3 - островных дуг (субдукция океанической коры под островную дуг), 4 - пассивной окраины континентов, 5 - активной окраины континентов (субдукция океанической коры под континентальную), 6 - коллизии, 7 - наложенных прогибов. Конечным результатом проявления каждого из перечисленных геодинамических режимов могут быть определенные геологические формации и связанные с ними наборы различных полезных ископаемых. Рассмотрим некоторые примеры, касающиеся особенностей формирования лишь месторождений золота.

Эволюция геодинамических обстановок локализации золотого оруденения на Урале рассмотрена В.Н. Сазоновым (1996) [3]. Так, золотооруденение, отвечающее обстановке эпиконтинентального рифтогенеза, проявило себя в позднем рифее - кембрии. Оно ассоциирует с осадочными породами (черносланцевыми, карбонатными) и представлено золото - кварцевожильным и золотосодержащим прожилково вкрапленным колчеданно-полиметаллическим.

С вещественными комплексами океанического спрединга (ультрабазиитами, спилит-диабазитами ордовикского возраста) известны золоторудные объекты мелкого масштаба. Они сформировались лишь в результате проявления более поздних процессов трансформации отмеченных геологических образований.

5.1.5 Формационный критерий

При геологическом прогнозировании, особенно ориентированном на обнаружение трудно открываемых и нетрадиционных месторождений, сейчас уже недостаточно ограничиваться выделением отдельных разновидностей пород и типов оруденения. Прогноз, основанный лишь на обобщении отдельных факторов рудогенеза (стратиграфического, литологического, особенностей химического состава пород и т.д.), часто не дает желаемого результата. В основу должен быть положен системный анализ более крупных

массивов геологической информации. Именно это направление является составной частью формационного анализа, широко используемого как при геологическом картировании, так и в прикладной металлогении.

Термин «формация» в геологической литературе появился уже давно. Применительно к осадочным образованиям - более 200 лет, магматическим породам - более 90 лет, более 80 лет - к рудным месторождениям. Многочисленные формулировки понятий «геологическая формация», «рудная формация» у разных авторов (Ю.А. Кузнецов, Д. В. Рундквист, Н.П. Предтеченский, В.И. Драгунов, П.М. Татаринев, П.А. Строна и многие другие) хоть и несколько различаются между собой, но имеют достаточно определенный смысл [3].

Геологическая формация - это естественная ассоциация геологических тел, связанных общностью генезиса и территории. Каждая геологическая формация фиксирует определенный геотектонический режим.

Рудная формация - группа месторождений (рудопроявлений), характеризующихся устойчивой ассоциацией минеральных парагенезисов и сходными геологическими условиями образования.

В процессе разработки представлений о геологических формациях наметились два подхода к их выделению:

парагенетический - его сторонники подчеркивают определяющее значение эмпирического подхода, необходимость изучения вещественного состава каждого объекта, структурных особенностей локализации изучаемых образований, отказ от каких - либо гипотетических генетических представлений,

генетический подход - его сторонники, наоборот, делают акцент на познание генетических признаков изучаемых ассоциаций пород и их обобщение. Аналогичный подход имел место и в изучении месторождений полезных ископаемых. Однако фактор времени, как и практика прогнозно - поисковых работ, показали, что противопоставлять эти два направления нельзя.

Формационный анализ геологических образований имеет важное зна-

чение на всех стадиях геологоразведочного процесса. Однако наиболее существенную роль его использование может играть на этапе геологического прогнозирования и поисков. Кардинальное значение при этом приобретает объективное рассмотрение вопроса о роли той или иной геологической формации в возникновении рудной (нерудной) минерализации.

Роль геологических формаций в процессах рудогенеза может быть различной. Её можно определить, как весьма многоплановую. Геологические формации при минерагеническом районировании изучаемых территорий предлагается подразделять на рудовмещающие, рудоносные, рудогенерирующие, рудообразующие (рисунок 4) [10, 11, 12].

Рудовмещающие геологические формации - геологические образования, на которые наложались более поздние рудообразующие процессы.

Рудоносные геологические формации - геологические образования, несущие формационно - однородные продукты рудогенеза. Они наиболее тесно пространственно и генетически связаны с рудными телами. В настоящее время принято включать в это понятия поля развития околорудных метасоматитов.

Рудогенерирующие геологические формации - геологические образования, которым предписывается роль источников вещества и транспортирующих агентов.

Рудообразующие геологические формации - геологические образования, под влиянием которых процессы рудообразования реализуются за счет вещества, содержащегося в иных геологических формациях.

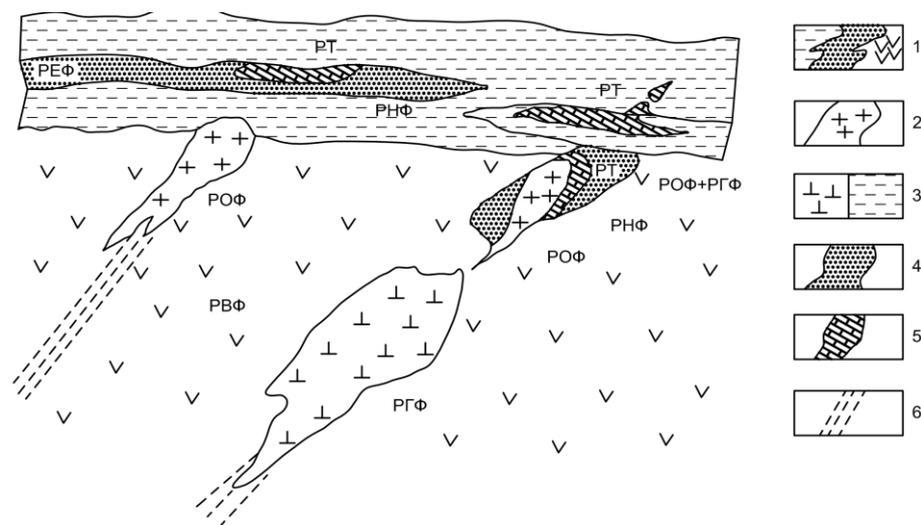
Для обобщения формационной основы прогноза месторождений требуется систематизация исходной геологической информации. Она должна включать в себя выполнение следующих операций:

- выявление рудных скоплений с первоначальным определением их рудно - формационной и геолого - промышленной принадлежности;
- обоснование признаков рудовмещающих геологических формаций,
- анализ зависимости между формационными характеристиками руд-

ных скоплений и вмещающей среды,

- конкретизация роли рудовмещающей среды с оценкой ее принадлежности к определенной группе формаций (рудовмещающая - рудоносная - рудогенерирующая - рудообразующая);

- обоснование принадлежности рудных образований к той или иной формации или их сочетанию.



1 – породы рудовмещающих формаций (РВФ) – среда рудоотложения;
2 - породы рудообразующей формации (РОФ) – источник энергии и рудоносных растворов; 3 - породы рудогенерирующей формации (РГФ) – источник рудного вещества; 4 - породы рудоносной формации (РНФ) – тесно пространственно-генетически связанные с рудными телами (поля метасоматитов); 5 – рудные тела (РТ); 6 – глубинные разломы.

Рисунок 4 – Подразделение геологических формаций в связи с процессами рудообразования (принципиальная схема)

Геологическое прогнозирование на формациональной основе - это научное предвидение пока что непознанных свойств геологической системы и заключенных в ней рудных объектов, основанное на известных закономерностях рудогенеза и оценке роли геологических формаций в возникновении рудной минерализации.

Составной частью формационного подхода к оценке перспектив отдельных территорий является рудно-формационный анализ. Важна его роль не только на ранних стадиях геологоразведочного процесса, но и при проведении разведочных работ на отдельных объектах. Правильное и своевременное определение формационной природы изучаемых рудопроявлений позволяет осуществлять отбраковку заведомо бесперспективных объектов, переориентировать горнодобывающие предприятия на новые виды минерального сырья (особенно в уже освоенных и истощающихся рудных районах). Рассмотрим лишь несколько примеров.

Монометалльные и весьма сходные проявления ртути встречаются во многих рудных формациях, но лишь только двум из них (сурьяно-ртутно-флюоритовой и золото-сурьяно-вольфрамо-ртутной) свойственно формирование крупных объектов.

Среди месторождений редких и благородных металлов (олова, вольфрама, молибдена, сурьмы, ртути, золота, платиноидов) выделяются объекты, обладающие чертами сложных полиформационных образований, возникших в результате пространственного совмещения разнотипного и разновременного оруденения. Так, одно из месторождений в пределах Енисейского кряжа было открыто и разведано как сурьяное. При завершении разведки обратили внимание на то, что при выклинивании крутопадающих антимонит-кварцевых жил среди вмещающих филлитовидных сланцев появилась полойная обогащенность вкрапленным пиритом, арсенопиритом, тонкими кварцевыми прожилками. Опробование установило их золотоносность. Выявленные пластообразные залежи прожилково-вкрапленного типа вновь яви-

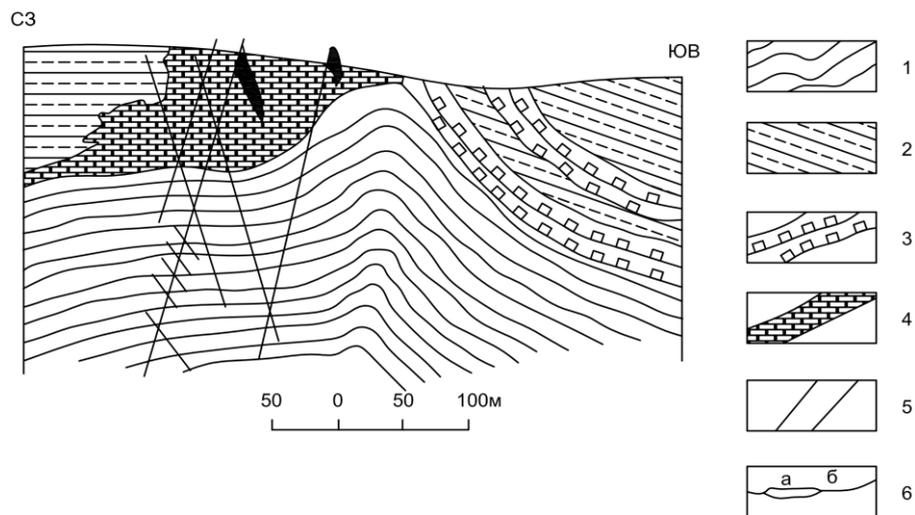
лись объектом разведки (рисунок 4) [3]. Крупными и уникальными запасами руды обладают полиформационные месторождения золота, вольфрама, молибдена, урана и других металлов. Это требует разработки для них специальных критериев и признаков рудоносности.

Урановое оруденение часто встречается в рудах шеелит-золото-молибден-полиметаллической формации, но при этом не образует крупных промышленных скоплений.

5. 1.6 Геохимический критерий

Основан на закономерном поведении химических элементов в земной коре, обусловленном как свойствами самих элементов, так и физико-химическими обстановками, и особенностями геологических процессов. Научной основой использования рассматриваемого критерия являются положения о миграции, концентрации и рассеянии химических элементов, заложенные и развитые в работах В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, а также их последователей.

Исследование распределения химических элементов в горных породах имеет важное значение при геологическом прогнозировании и поисках. Особенности распределения элементов определяются характером



1 – сланцы углисто-глинистые (верхний протерозой); 2 – алевросланцы; 3 – сланцы углисто-глинистые с вкрапленностью сульфидов; 4 – окварцевание; 5 – антимонит-кварцевые жилы; 6 – разведочные выработки – канавы (а), скважины (б)

Рисунок 4 – Геолого-структурная позиция золото-сурьмяного оруденения распространности в породах тех или иных минералов, а также зависят от формы вхождения элементов в различные минералы.

При геохимической характеристике каждого конкретного комплекса пород должны быть вычислены для отдельных элементов на основе данных приближенно-количественного спектрального анализа основные статистические показатели: среднее арифметическое значение, дисперсия и среднеквадратическое отклонение, а также асимметрия, эксцесс. Расчеты выполняются применительно к конкретным участкам земной коры (как в региональном, так и локальном масштабе) и позволяют решать целый ряд практических вопросов. В их числе:

- дать качественную и количественную оценку относительно роли и формы концентрации отдельных химических элементов (как рудных, так и петрогенных); в ряде случаев полученные параметры могут рассматриваться в ранге индикаторов рудоносности,

- установить связь между отдельными химическими элементами и комплексами пород,

- охарактеризовать связь между химическими элементами и определенными геологическими эпохами (геодинамическими режимами).

Важным практическим аспектом при этом является обоснование геохимической специализации тех или иных геологических комплексов, что может быть использовано для решения ряда прикладных задач. Следует подчеркнуть, что понятие геохимической специализации горных пород или комплексов не исчерпывается наличием или отсутствием в них тех или иных рудных элементов. Здесь необходимо учитывать также и иные аспекты оцениваемых геологических образований. Так, для магматических пород характер их геохимической специализации в каждом конкретном случае зависит от совокупности факторов, включающих природу магматического расплава, геологические особенности его кристаллизации, характер постмагматических преобразований и т.д. Геохимическая специализация осадочных толщ определяется (по Н.М. Страхову) особенностями химического состава пород, являющихся источниками сноса, характером дифференциации кластического и растворенного вещества на путях миграции, тектоническими и климатическими режимами, особенностями физико-химических и биологических процессов в водоемах стока, условиями диагенетических преобразований и т.д.

В зависимости от масштабов проявления геохимическая специализация пород может иметь региональное или локальное значение.

На основе региональных параметров распределения могут быть выделены геохимические провинции с аномальными особенностями распределения одного или нескольких химических элементов (как породообразующих, так и аксессуарных). Эти особенности проявляются в существенно повышенном

или пониженном среднем содержании элементов или же значительно отличающейся их дисперсии распределения. В то же время следует отметить, что нет исчерпывающих данных, которые бы позволяли однозначно связать аномальный характер распределения рудных и петрогенных элементов в пределах геохимических провинций с масштабами их рудоносности (А.А. Беус) [9]. Однако для ряда металлов (олово, вольфрам, литий, никель, хром, некоторые редкие металлы) подобную связь можно считать доказанной. Следует также учитывать закономерности распределения химических элементов в разновозрастных комплексах в пределах единых геохимических провинций. Так, в направлении от более древних к молодым магматическим комплексам убывает содержание сидерофилов хрома, никеля, ванадия, кобальта, меди.

Локальные параметры распределения отражают особенности поведения элементов в различных ограниченных по площади геохимических образованиях (интрузивных, эффузивных, метаморфических, осадочных). В породах, не затронутых рудообразующими процессами, параметры распределения характеризуют так называемый геохимический фон. Проведенные массовые наблюдения позволяют выделять аномальные площади и на их основе намечать участки, перспективные для поисков тех или иных полезных ископаемых.

Выявление парагенетических ассоциаций, проявленных на уровне месторождений - минералов - элементов, имеет важное прикладное значение, т.к. позволяет по наличию одних месторождений (минералов, элементов) целеустремленно искать и обнаруживать другие. Примеры, отражающие отмеченные закономерности многочисленны. Так, среди природных парагенезисов эндогенных рудных месторождений характерны для магматических - платины и хрома, прожилково-вкрапленных объектов меди и молибдена, для пегматитовых - бериллия и тантала - ниобия, для гидротермальных - кварц-грейзеновые олова, вольфрама и молибдена, урана, ванадия и молибдена, урана и фосфора, для осадочных месторождений - железа, марганца, бокситов, для месторождений кор выветривания - железа, силикатного никеля, ко-

бальта, бокситов и т.д.

Парагенезисы минералов позволяют выделять естественные минеральные ассоциации и устанавливать недостающие члены парагенетических рядов. Эта особенность широко используется при геологическом прогнозе и поисках (например, поиски коренных месторождений алмазов по пиропам, пикроильмениту, оценка перспектив золотоносности на основе изучения минеральных продуктивных ассоциаций), а также при оценке окисленных рудных выходов (по ассоциациям типоморфных минералов).

Важнейшее значение при поисках имеет учет природных парагенезисов элементов. Эти данные используются для разработки выявленных аномалий, усиления полезных ослабленных сигналов (отстройки аддитивных и мультипликативных ореолов), комплексной оценки потенциального оруденения. Достаточно хорошо исследованы ведущие парагенезисы элементов основных типов рудных месторождений. Так, для золота это серебро, мышьяк, висмут, теллур и др., для платины хром, никель, кобальт, иные элементы платиновой группы, для урана - медь, кобальт, висмут, серебро и др., для полиметаллических - серебро, кадмий и др. Всегда важен учет распределения элементов как в вертикальном разрезе, так и по латерали. При изучении эндогенной зональности необходимо учитывать ряд вертикальной зональности, предложенный Л.Н. Овчинниковым, С.В. Григоряном (снизу-вверх): вольфрам - мышьяк (1) - молибден - кобальт - никель - висмут - медь (1), цинк свинец - золото - мышьяк (2) - медь (2) - сурьма - ртуть.

Изучение зоны гипергенеза имеет важное значение при прогнозной оценке окисленных выходов рудных тел, поисках месторождений остаточного и инфильтрационного типов. Широкий спектр полезных ископаемых связан с химическими корами выветривания (как каолинового, так и латеритного профиля). С ними ассоциируют природно-лигированные руды железа, бокситов, золота, силикатно-никелевого сырья и др. Инфильтрационные образования содержат руды железа, марганца, меди, фосфора, урана, ванадия, бора и др.

Масштабные изменения происходят при гипергенном преобразовании рудных месторождений. Особенно они грандиозны в разрезе медноколчеданных месторождений, что проявляется в формировании вторичной экзогенной зональности. Установлено, что наиболее масштабно процесс вторичного золотого обогащения проявил себя в зоне кремнистой плитки и пиритной сыпучки. Максимальные концентрации ртути свойственны горизонту кремнистой плитки - нижним ее частям.

5.1.7 Геоморфологический критерий

Основан на наличии пространственной связи, отражающей размещение полезных ископаемых в зависимости от характера современного или древнего рельефа. Геоморфологический фактор имеет важное значение при прогнозировании и поисках как эндогенных, так и экзогенных полезных ископаемых. В его использовании определились два направления (подхода), которые можно назвать как морфогенетическое и палеогеоморфологическое.

Морфогенетическое направление предусматривает использование особенностей форм современного рельефа при поисках полезных ископаемых. Об этом известно уже было давно. Так, М.В. Ломоносов писал «Ежели какая - нибудь продолговатая по горе лежащая логовина или борозда в таком месте лежит, где не можно подумать, что ее водой промыло, то надобно тут поискать, буде гора сама общие признаки в себе находящихся руд показывает» [3]. При геологическом картировании и поисках пристального внимания заслуживает оценка положительных и отрицательных форм рельефа (микрорельефа). Положительные формы возникают при выветривании устойчивых геологических образований (в их числе рудных тел), залегающих среди менее устойчивых. Подобные примеры многочисленны. Так, кварцевые жилы нередко доминируют в рельефе, образуя отчетливо вытянутые гребни, возвышающиеся над вмещающими породами. Аналогично проявляют себя и

дайки некоторых магматических пород, линзы титаномагнетита (на площади Кусинского месторождения). Положительные формы образуют изометричные тела вторичных кварцитов в степном рельефе Центрального Казахстана, содержащие оруденение медно-порфирового типа. Заметно доминируют на фоне пенепленизированной местности Южного Урала многие массивы гранитоидных пород, а также тела гипербазитов. Окварцованные или содержащие пегматитовые и кварцевые жилы участки нередко образуют положительные формы рельефа, а областям грейзенизированных гранитов отвечают отрицательные формы. Подобные особенности характерны и для некоторых экзогенных полезных ископаемых. Так, гравийные месторождения, связанные с ледниковыми отложениями, нередко приурочены к озам, выступающим на поверхности в виде хорошо заметных гряд.

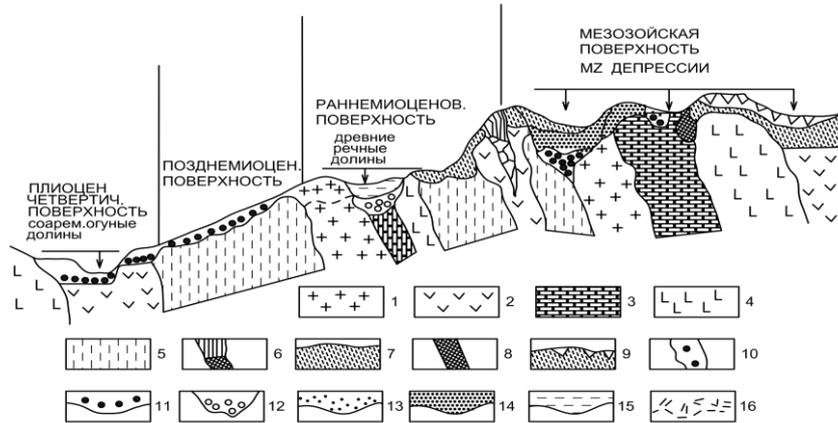
Разнообразно происхождение отрицательных форм рельефа. Однако «рудная природа» этих микро- и макроформ обосновывается далеко не всегда. Тем не менее, речные системы первых порядков нередко унаследуют системы разрывных нарушений. В пределах этих линейных зон могут быть проявлены гидротермально-метасоматические изменения. Аллювиальный переувлажнение минерализованных зон смятия обусловил появление многочисленных линейно-вытянутых россыпей золота. Над зоной окисления ряда сульфидных месторождений в условиях формирования площадных химических кор выветривания также могут возникать провалы рельефа. Это является следствием интенсивного окисления сульфидов, значительной миграции вещества из верхних горизонтов, что приводит к сокращению объема окисленной части и появлению провалов.

Характерный микрорельеф, отчетливо выделяемый при аэрофотодешифрировании, имеют области развития древнего заполненного карста. Картирование участков распространения карстовых форм рельефа имеет важное прикладное значение, т.к. с карстом пространственно связаны многие экзогенные полезные ископаемые (россыпи золота и платины, тела бокситов, залежи силикатного никеля и др.)

Палеогеоморфологическое направление в использовании критерия направлено на оценку перспектив территорий на полезные ископаемые, связанные с прошлыми геологическими эпохами. Значение этого критерия для прогнозирования целого ряда полезных ископаемых весьма велико (например, россыпей золота, платины), так как уровень освоенности месторождений, связанных пространственно с современными гидрографическими сетями, настолько значителен, что при этом во многих случаях необходима кардинальная переоценка направления поисковых работ.

За основу при оценке перспектив территорий на экзогенные полезные ископаемые обычно берут материалы палеогеоморфологического картирования, обязательным элементом которого является обоснование различных фрагментов рельефа того или иного возраста, отвечающих определенным поверхностям выравнивания. По Я.С. Эдельштейну, А.Л. Сигову **поверхности выравнивания** - это участки (фрагменты) древнего или современного рельефа, отвечающие завершенным или незавершенным эрозионным циклам [9]. Таким образом, сформулированный подход как бы наследует основные принципы традиционного геологического картирования - возрастное расчленение изучаемых геологических образований. Однако для участков суши, испытавших длительную историю континентального развития и, следовательно, не имеющих стратифицированных и выдержанных на площади геологических образований, палеогеоморфологическому картированию, преследующему расчленение наблюдаемого рельефа на отдельные его фрагменты (отвечающие тем или иным поверхностям выветривания), альтернативы нет. Огромный фактический материал, накопленный при палеогеоморфологическом картировании Урала обобщен в работах А.П. Сигова, В.С. Шуба [3]. Предложено на мезозойско-кайнозойском отрезке континентальной истории региона выделять поверхности выравнивания следующего возраста: ранне-мезозойскую, поздне-мезозойскую, раннемиоценовую, позднемиоценовую и плиоцен - четвертичную поверхность врезания. Поверхности выравнивания подразделяются на денудационные и аккумулятивные. С каждой из них, в

зависимости от особенностей состава и строения пород субстрата, связаны свои полезные ископаемые (рисунок 5).



1-5 – породы субстрата: 1 – гранитоиды, 2 – эффузивы, 3 – известняки, 4 – ультрабазиты, 5 – прочие породы, 6 – сульфидные руды и железные шляпы по ним, 7 – мезозойские и раннемиоценовые коры выветривания, 8 – 16 – экзогенные полезные ископаемые: 8 – никелевые руды; 9 - природнолегированные железные руды, 10 – бурые железняки алапаевского типа, 11 - бобовые железные руды, 12 – бокситы, 13 – россыпи золота, платины и иных компонентов, 14 – кварцевые пески, 15 – огнеупорные глины, 16 – первичные каолины

Рисунок 5 – Приуроченность экзогенных полезных ископаемых к древним поверхностям выравнивания

Одним из прикладных аспектов палеогеоморфологического картирования является оценка уровня эрозионного среза изучаемых территорий. Это имеет важное значение при прогнозе эндогенных полезных ископаемых, особенно скрытых. Глубина эрозионного среза - это средняя мощность тол-

щи горных пород в районе, уничтоженных денудационными процессами после завершения складчатых и магматических процессов. Для использования данного параметра в прогнозе скрытого оруденения необходимо реставрировать поверхность земли и ее рельеф в период формирования полезного ископаемого, а также глубину образования оруденения. На основе этих и иных данных строятся карты глубины эрозионного среза с выделением на них площадей, перспективных на определенные типы полезных ископаемых.

5.1.8 Использование данных о характере и строении геофизических полей

Совокупность характерных особенностей физических полей, указывающих на перспективность площадей в отношении обнаружения в их пределах полезных ископаемых, принято выделять в ранге геофизических критериев (предпосылок). Однако использование данного термина, не вполне правомерно, ибо оно не соответствует сформулированным выше определениям. Напомним, что в понятие критериев прогнозирования мы включаем обоснованные (выявленные) геологические факторы, оптимальное проявление которых может привести к возникновению масштабных склонений полезных ископаемых. Поэтому следует говорить о необходимости обязательного учета при геологическом прогнозе характера и строения геофизических полей, отражающих разные соотношения физических свойств горных пород и содержащихся в них полезных ископаемых. При переходе от региональных исследований к детальному и локальному геологическому прогнозу обобщаемая геофизическая информация все в большей мере начинает проявлять себя уже в ранге поисковых признаков.

В наиболее общем виде картируемые геофизические поля могут быть подразделены на три группы нормальные однородные, нормальные неоднородные и аномальные.

Нормальные однородные геофизические поля обычно связаны с поло-

го- или горизонтальнозалегающими толщами пород значительной мощности на платформах, щитах, во впадинах. Если в этих толщах располагаются полезные ископаемые, не создающие отчетливых геофизических аномалий, то их бывает сложно обнаружить на фоне нормального однородного поля.

Нормальные неоднородные геофизические поля отмечаются наиболее часто. Обычно они связаны со складчатыми зонами, где разнообразие горных пород образует сложное чередование физических свойств, фиксируемое на картах, профилях. В то же время определенным неоднородностям этих полей могут соответствовать и природные скопления полезных ископаемых (в ранге как проявлений, так и месторождений). Интенсивность создаваемых ими аномалий будет зависеть не только от масштаба минерализации, но и глубины залегания, характера перекрывающих отложений.

Аномальные геофизические поля характеризуются достаточно отчетливыми и интенсивными аномалиями. Они могут быть связаны как с телами полезных ископаемых, физические свойства которых резко выделяются на фоне вмещающих пород, так и с некоторыми типами горных пород, с которыми связана минерализация.

Следует отметить, что перечень полезных ископаемых, создающих отчетливые геофизические аномалии, относительно небольшой. Это, в первую очередь, месторождения железа (скарнового, метаморфогенного типов), а также меди, свинца, цинка, хромитов, отчасти углей. Значительно чаще приходится анализировать особенности строения физических полей, связь с отдельными элементами которых полезных ископаемых проявляется лишь косвенно.

Контрольные вопросы:

- 1 Что такое поисковые критерии рудоносности? Как их можно систематизировать
- 2 На чем основано применение стратиграфического критерия. Приведите примеры.
- 3 Что такое литолого-фациальный критерий рудоносности? В ка-

ких случаях он основывается на исследовании фациальной изменчивости осадочных толщ в каких - учитывает собственно литологические факторы.

4 В чем сущность магматического критерия рудоносности? Каков способ его применения в зависимости от формационного типа магматических комплексов? Приведите примеры.

5 Чем объясняется зональное размещение оруденения по периферии магматических комплексов. Примеры.

6 На чем основано применение структурно-тектонического поискового критерия? Приведите примеры регионального и локального структурного контроля рудоносности.

7 Каким образом следует учитывать концепцию тектоники литосферных плит на современном этапе при прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых.

8 В чем сущность формационного критерия при прогнозировании полезных ископаемых?

9 Как можно подразделить геологические формации при минерагеническом районировании?

10 Приведите примеры успешного применения рудноформационного анализа при оценке перспектив территорий.

11 На чем основано применение геохимического критерия?

12 Какие прогнозно-поисковые задачи можно решать на основе использования геохимического критерия.

13 В чем сущность геоморфологического критерия. Раскройте два основных направления его использование - морфогенетическое и палеогеоморфологическое.

14 Охарактеризуйте особенности физических полей как индикаторов потенциальной рудоносности площадей.

6 Прямые и косвенные поисковые признаки

Поисковые признаки - геологические и иные факты прямо или косвенно указывающие на возможность обнаружения в конкретном месте проявлений полезных ископаемых. Их целесообразно подразделять на прямые поисковые признаки - непосредственно указывающие на наличие того или иного оруденения (вне зависимости от его промышленной значимости) и косвенные поисковые признаки - когда имеющаяся информация лишь косвенно свидетельствует в пользу наличия здесь оруденения. К числу прямых поисковых признаков принято относить 1) рудные выходы, 2) ореолы рассеяния рудного вещества, 3) следы старых разработок, 4) иногда геофизические аномалии [3].

Перечень косвенных поисковых признаков более широкий и включает в себя: 1) пункты (поля) развития рудоносных метасоматитов, 2) геохимические аномалии (часть их может быть прямыми признаками), 3) сопутствующие оруденению минералы и элементы-индикаторы, 4) геофизические аномалии (большинство из выявленных), 5) прочие.

6.1 Оценка выходов рудных тел

Выходы рудных тел на поверхность - один из наиболее важных поисковых признаков. Во многих случаях по рудным окисленным выходам можно судить не только о типе оруденения, качестве руд, но и высказывать аргументированные суждения о масштабности проявленных процессов и даже о перспективах оруденения на глубину.

Для объективной оценки выходов полезных ископаемых на поверхность необходимо понимать основные особенности формирования зоны окисления (гипергенеза) рудных месторождений, в частности стадий развития, меха-

низм формирования зональности и т.д.

Существуют различные подходы, касающиеся систематики окисленных рудных выходов. Однако для поисковых целей наиболее удобно подразделение всех элементов на подвижные (легко выносящиеся из зоны окисления), инертные (не претерпевающие существенных изменений) и промежуточные (переходящие при окислении в иные минеральные формы, но при этом интенсивно не мигрирующие). Эта систематика по степени устойчивости и характеру изменения главных рудообразующих минералов в зоне окисления, предложенная В.И. Смирновым (1957), предусматривает выделение четырех групп месторождений металлов [11].

Первая группа - месторождения металлов, главные рудообразующие минералы которых практически устойчивы в зоне окисления или изменяются слабо. К этой группе следует относить месторождения оксидных и гидроксидных руд железа, марганца, бокситов, хромитов, касситерита, титана, руд вольфрама и ртути, золота кварцевожильного типа, платины и платиноидов. Данные по содержанию металла, полученные при опробовании выходов можно распространять (конечно, с определенной долей условности) и на глубинные части рудных тел.

К первой группе следует отнести и некоторые месторождения нерудного сырья - алмазов, корунда, шпинели и др.

Вторая группа - месторождения металлов, главные рудообразующие минералы которых, являясь неустойчивыми в зоне окисления, заменяются вторичными. Происходит изменение первичного состава, но не отмечается существенного изменения содержания металла. К этой группе относятся месторождения свинца, мышьяка, висмута, сурьмы, карбонатных руд железа и марганца. Как и в предыдущем случае, данные опробования верхних частей рудных тел можно, в общем случае распространять и на нижние их части. Однако оценка технологических свойств возможна лишь только на основе изучения коренных руд.

Третья группа - месторождения металлов главные рудообразующие минералы, которых, являясь неустойчивыми в зоне окисления, легко растворяются и выносятся за пределы рудных тел. К этой группе относятся месторождения цинка, меди, никеля, кобальта, молибдена, урана, золота (связанного с сульфидными рудами). В верхних горизонтах первичные минералы заменяются на вторичные с частичным или полным выносом металла. Данные по содержанию металла полученные при опробовании верхних горизонтов нельзя распространять на глубинные части рудных тел (где содержание может быть существенно выше).

Четвертая группа - месторождения (свинцовые, свинецсодержащие), в зоне окисления которых накапливаются металлы, не свойственные первичным рудам. Отмечается концентрация молибдена в форме вольфенита – $PbMoO_4$, ванадия в форме ванадинита - $Pb_5(VO)_4Cl$, хрома в форме крокоита - $PbCrO_4$. Данные, полученные при опробовании зоны окисления (на Mo, V, Cr) нельзя распространять на глубину.

Имеющийся в настоящее время материал позволяет выделить дополнительно еще и **пятую группу** месторождений. Она, по сути дела является разновидностью месторождений первой группы и характеризуется тем, что на выходах при определенной геолого - геоморфологической позиции упомянутых объектов **происходит резкое обогащение полезными компонентами**. Это происходит за счет выщелачивания нерудных минералов (при этом происходит концентрирование редких земель в карбонатитах, тантало-ниобатов в пегматитах), а также на месторождениях золота в результате механической просадки высвободившихся при выветривании зерен (суффозионно-гравитационный механизм концентрирования). Отмеченные особенности необходимо учитывать, как при поисковой оценке этих объектов, так и их разведке.

Итак, при изучении выявленных выходов полезных ископаемых необходимо решить следующие геологические задачи:

-на основании визуального осмотра и, если это возможно данных опробования ответить на вопрос - какие вторичные минералы наблюдаются на изучаемом проявлении;

-сделать прогноз о возможном первичном минеральном составе исследуемых образцов;

-решить вопрос - можно ли результаты опробования окисленной зоны экстраполировать на глубину;

-высказать соображения о возможном промышленном типе оруденения.

При решении сформулированных задач в полевых условиях пользуются:

- приемами визуальной диагностики,

- используют простейшие лабораторные испытания.

При этом важно найти в изучаемых образцах фрагменты минералов первичных руд. Так, в рудах полиметаллических месторождений на месте легко разлагающегося галенита вначале появляется англезит, который, будучи также не устойчивым, переходит в церуссит. Однако даже в глубоко окисленных рудах нередко можно найти остатки не полностью разложившегося галенита.

Многие рудные минералы (в первую очередь сульфиды) в зоне окисления порождают обильные охристые образования. Существует определенная зависимость между цветом охр и возможным первичным минеральным составом руд. Так, для руд существенно пиритового состава характерны охры желтоватого (лимонитового цвета, для халькопиритовых выделений - красноватого, блеклых руд - шоколадного цвета). Окисленные скопления железистого карбоната дают ржаво-рыжие тона. Охристые образования возникают при химическом разложении большой группы и иных минералов. Свои характерные цветовые оттенки имеют свинцовые охры, охры молибдена, сурьмы, кобальта и др. элементов. О некоторых из них будет сказано ниже.

Приведем краткие сведения, касающиеся направленности процессов изменения руд указанных групп месторождений, что важно учитывать при оценке объектов по выходам [8].

Месторождения первой группы.

Железо. Руды, сложенные магнетитом, гематитом и лимонитом, достаточно устойчивы в зоне окисления. Обломки магнетита образуют так называемые «валунчатые руды». Они возникают при разрушении залежей скарно-магнетитовых руд и размещаются в пределах склоновых элементов рельефа. Однако в значительной мере по магнетиту развиваются гематит и гидрогематит. Это уже мартитовые руды. В процессе мартитизации магнетита иногда образуется маггемит, малоустойчивая магнитная фаза Fe_2O_3 , обычно переходящая в гетит или гидрогетит.

Марганец. Пирролюзит в приповерхностной зоне существенно не изменяется. Манганитовые руды переходят в тонкодисперсные пирролюзитовые скопления.

Алюминий. Рудные тела бокситов, представленные, в основном, гидроксидами алюминия - диаспором (бемитом) и гидраргиллитом, достаточно устойчивы к агентам окисления.

Хром. Хромшпинелиды, слагающие рудные тела хромитовых месторождений в приповерхностных условиях практически не изменяются.

Олово. Главный промышленный минерал оловорудных месторождений - касситерит - очень устойчив в зоне окисления и практически не изменяется.

Вольфрам. Рудообразующие минералы вольфрамовых месторождений - вольфрамит и шеелит - являются химически устойчивыми и слабо подвергаются окислению. Вольфрамит в зоне окисления иногда покрывается тонкой пленкой тунгстита - $WO_3 \cdot nH_2O$. В аридных условиях с сухим пустынным климатом вольфрамит может разлагаться на выходах с образованием на месте его скелета гидроксидов железа и марганца. Шеелит в рудах со значительным содержанием сульфидов может разлагаться и выщелачиваться.

Иногда на поздних стадиях выщелачивания вольфрам частично задерживается, входя в состав штольцита ($PbWO_4$) и чиллагита ($PbMoWO_4$).

Ртуть. Главнейшим рудообразующим минералом ртутных месторождений является киноварь. Этот минерал является единственным (из числа широко распространенных сульфидов) весьма устойчивым в зоне окисления. Незначительная часть ртути в присутствии сульфата оксидного железа может переходить также в сульфат. Но это соединение переносится водами на очень незначительное расстояние.

Золото. Степень подвижности золота в зоне окисления определяется в первую очередь, размерами включений в руде. Наиболее крупные макроскопически наблюдаемые выделения металла свойственны месторождениям золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой формаций. В зоне окисления этот металл претерпевает изменения в сторону увеличения его пробыности. При процессах электрохимической коррозии происходит миграция из золотовыделений серебра. При этом формируются высокопробные межзерновые прожилки, иногда высокопробные каймы. В то же время существенного химического перераспределения золота не происходит.

Иная картина, свойственна самым верхним горизонтам зоны окисления месторождений, располагающимся на участках древнего (мезозойского) непленнизированного рельефа. Здесь в ряде случаев можно наблюдать «залежи» плащеобразной формы, которым свойственно наличие «окатанного» (псевдоокатанного) золота повышенной гидравлической крупности. «Окатанность» является следствием одновременного проявления двух процессов: механического обминания при вертикальной просадке золотин в результате «послойного» удаления денудационными процессами выветрелых глинизированных пород и активного гипергенного преобразования поверхности золотин в условиях химически агрессивной среды.

Платина и платиноиды. Согласно существующим представлениям они не подвергаются значительным изменениям в зоне окисления.

Месторождения второй группы.

Свинец. Главный минерал первичных руд - галенит - неустойчив в зоне окисления. Принято считать, что в начальной стадии разложения он замещается англезитом, который затем переходит в церуссит. Однако в действительности на отдельных месторождениях в зависимости от преобладания тех или иных минеральных парагенезисов, климатических особенностей процесс окисления идет обычно значительно сложнее. Минералогия зоны гипергенеза достаточно обширна и включает в себя сульфаты (плюмбоярозит), фосфаты (пироморфит), молибдаты (вульфенит), ванадаты (деклуазит), разнообразные охры (платтнерит, глет, массикот и др.). Вынос свинца из зоны окисления большей частью незначителен. Однако в условиях древнего выветривания при аридном климате его подвижность существенно возрастает.

Мышьяк. Наиболее распространенный мышьяковистый минерал - арсенопирит - неустойчив в зоне окисления, где он замещается скородитом - $\text{FeAsO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Типоморфным минералом зоны гипергенеза арсенопиритовых месторождений иногда является бедантит - $\text{PbFe}_3(\text{AsO}_4)$. Реальгар (AsS) более устойчив по сравнению с арсенопиритом, но в верхних горизонтах он иногда замещается аурипигментом (As_2S_3). Всего же в зоне гипергенеза рудных месторождений известно около 70 минеральных видов, относимых к классу арсенатов. Их выделение плохо индивидуализировано. Нередко они образуются в смесях друг с другом и минералами других классов, для них обычны тонкодисперсные агрегаты. Все это затрудняет их диагностику. Может мышьяк также фиксироваться в зоне гипергенеза в виде оксидов.

Сурьма. Главный промышленный минерал сурьмяных руд - антимонит - в зоне окисления неустойчив и замещается различными оксидами сурьмы. Наиболее распространенными минералами зоны окисления являются валентинит - Sb_2O_3 , сервантит - Sb_2O_4 , стибиконит - $\text{Sb}_2\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, сенармонтит - Sb_2O_3 .

Висмут. Главным рудообразующим минералом висмутовых месторождений является висмутин. В зоне окисления он неустойчив и быстро замещается. Типоморфными минералами зоны окисления чаще всего являются бисмит - $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, бисмутит - $\text{Bi}_2(\text{OH}_4(\text{CO}_3))$, базобисмутит - $\text{Bi}_4(\text{CO}_3)(\text{OH}_2)\text{O}_4$.

Карбонатные руды железа и марганца. Они неустойчивы в зоне окисления и замещаются оксидами и гидроксидами этих металлов.

Месторождения третьей группы.

Медь. Сульфиды меди, образующие первичные руды, неустойчивы в условиях зоны окисления и легко переходят в сульфаты. Последние легко растворимы в грунтовых водах и поэтому могут быть частично или полностью вынесены из верхних частей рудных залежей. Факторами, обуславливающими осаждение меди из сульфатных растворов, являются наличие карбонатов, присутствие минералов, обуславливающих адсорбцию меди (лимонита, псиломелана, каолина и др.) нахождение на глубине сульфидов, способствующих высаждению вторичных сульфидных минералов меди. Поэтому типоморфными минералами меди в зоне окисления являются карбонаты - малахит - $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ и азурит - $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, оксиды - куприт - Cu_2O и тенорит - CuO , сульфаты - халькантит - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ брошантит - $4\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, силикаты - хризокolla - $a\text{CuO} \cdot b\text{SiO}_2 \cdot c\text{H}_2\text{O}$, вторичные сульфиды - халькозин - Cu_2S и ковеллин CuS , самородная медь. Характерной особенностью верхних частей меднорудных месторождений является их зональное строение, где в приповерхностной части располагается зона окисленных руд, ниже - зона выщелоченных руд (с кварцевой и баритовой сыпучкой), еще ниже - зона вторичных сульфидных руд.

Цинк. Главный рудообразующий минерал - сфалерит - неустойчив в зоне окисления. Он преобразуется в сульфат цинка, являющийся высокоподвижным соединением. Поэтому при длительной циркуляции возможно почти полное удаление цинка из верхних частей месторождения и его вы-

саждение среди известняков в виде смитсонита - $ZnCO_3$. Типоморфными минералами зоны окисления также являются каламин – $Zn_4(OH)_2(Si_2O_7) \cdot H_2O$, железистый смитсонит и др. Наибольшее поисковое значение среди них имеет каламин, т.к. он легко диагностируется.

Никель. Сульфиды никеля (пентландит, миллерит) в зоне окисления неустойчивы и легко переходят в сульфаты. При этом никель может быть большей частью вынесен. Арсениды никеля (герсдорфит, хлоантин, никелин и др.) при окислении переходят в арсенаты. Аннабергит - $Ni_3(AsO_4) \cdot 8H_2O$ долго сохраняется в приповерхностной зоне и благодаря своей характерной окраске имеет важное поисковое значение.

Силикаты никеля связанные с корой выветривания ультрабазитов или осадочными породами, в приповерхностных условиях устойчивы и не окисляются.

Кобальт. Он ведет себя в зоне окисления подобно никелю. Сульфиды кобальта (например, линнеит) легко окисляются и металл выносятся за пределы зоны окисления. При наличии в рудах мышьяка часть кобальта может задержаться в зоне окисления в виде арсената кобальта - эритрина - $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$. Фиксируется кобальт в верхних частях рудных тел и в виде асболана (продукт абсорбции этого металла гелем гидроксида марганца).

Молибден. Основной минерал молибденовых и молибденосодержащих месторождений – молибденит. Он также неустойчив в зоне окисления. Главными типоморфными минералами в зоне окисления являются молибденит - MoO_3 , ферримолибдит - $Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 8H_2O$, повеллит – $CaMoO_4$. В последнее время детально изучены особенности строения зоны окисления месторождений в зависимости от их минерального состава, характера среды и т.д.

Уран. Первичные минералы урана - уранинит и настуран - неустойчивы в зоне окисления. В грунтовых водах они образуют соединения шестивалентного урана мигрирующие из окисленной части. Ход окисленных процессов в значительной степени зависит от состава руд. Так, в сульфидных рудах

при значительном количестве пирита возникают хорошо растворимые сульфаты урана, отличающиеся высокой подвижностью. Часть урана может задержаться в зоне окисления, выпадая в виде фосфатов, арсенатов, ванадатов. При окислении малосульфидных урановых руд возникает щелочная среда, в которой также образуются легкомигрирующие соединения урана (гидроксиды, карбонаты и др.). Однако и здесь часть урана может задерживаться в зоне окисления.

Вторичные минералы урана хорошо диагностируются благодаря своей цветной окраске, радиоактивным и люминесцирующим свойствам. Важное значение при этом имеют находки урановой черни - остаточного продукта неполного разложения настурана и уранинита.

Золото, связанное с сульфидными рудами, также подвержено процессам химической миграции. При просачивании на глубину растворов в подзоне выщелачивания (среди кварцевой и баритовой сыпучки) могут возникнуть вторичные концентрации этого металла.

Серебро. Первичные минералы серебра в полиметаллических месторождениях (аргентит), а также серебро, содержащееся в галените, в зоне окисления растворяются. Типоморфными минералами при этом являются самородное серебро и кераргирит. Часть серебра выносится в нижние горизонты зоны окисления, где при взаимодействии с первичными рудами снова отлагается в виде вторичного сульфида (аргентита) и самородного серебра.

Месторождения четвертой группы.

Ранее уже отмечалось, что в зоне окисления свинецсодержащих месторождений иногда происходит накопление молибдена в форме вульфенита – $Pb_5(VO_4)_3Cl$, хрома - в форме крокоита - $PbCrO_4$. Подобный тип концентрирования отмеченных металлов (достигающий значений, свойственных промышленным рудам), В.И. Смирнов связывает с длительной циркуляцией грунтовых вод, омывающих верхние части рудных тел и вмещающие их породы. Происходит фиксация отмеченных металлов (в виде молибдата, ва-

надата, хромата) в количествах, не свойственных первичным рудам.

При оценке окисленных выходов сульфидсодержащих месторождений многие исследователи уделяют большое внимание изучению разновидностей лимонита в железных шляпах. В случае не очень глубоко зашедшего окисления можно на основе диагностики **текстуры лимонитов** примерно наметить и количественные соотношения основных минералов в первичных рудах. Текстуры такого рода лимонитов получили название индикаторных. К индикаторным отнесены только те лимониты, что образовались на месте разложившегося первичного сульфида. Текстура индикаторных лимонитов представляет собой пористый скелет, образованный тонкими перепонками кремнистого материала и выполненный рыхлым лимонитом. Строение скелета отражает очертания граней кристаллов, систему кливажа, а также трещинные системы первичных минералов. Отмеченными исследователями и их последователями описаны различные типы строения пористого каркаса, характеризующие выделения различных сульфидов. Так, для агрегатов галенита характерны кливажная, алмазно-петельчатая и пирамидальная текстуры, для сфалерита - губчатая и ящичная, для халькопирита - грубоячеистая и тонкоячеистая ящичные, для борнита - треугольная ящичная, для тетраэдрита - контурная ящичная текстура и т.д.

В то же время индикаторные лимониты не пользуются повсеместным распространением в зонах окисления и характерны далеко не для всех сульфидных месторождений. Так, при высоком содержании в первичных рудах пирита создается такое количество рыхлого не диагностируемого лимонита, которое не позволяет количественно оценивать выходы месторождений по индикаторным текстурам.

Важное значение при оценке рудных выходов имеет также изучение пустот выщелачивания минералов. Наиболее часто эти пустоты проявляют себя в том случае, когда выщелоченные минералы располагались в устойчивой жильной массе (обычно в кварце). По форме пустот можно достаточно уве-

ленно диагностировать выщелачивание или механическое удаление (выкрашивание) довольно широкого спектра минералов. Среди них пирита, висмутитина, молибденита, антимонита, шеелита, магнетита, циркона, турмалина, кристаллов слюды и др.

6.2 Ореолы рассеяния рудного вещества

Ореолы рассеяния - области повышенной концентрации рудного вещества вокруг выходов минеральных залежей, генетически связанные с их формированием или разрушением. Ореолы, образующиеся в процессе формирования месторождений называются первичными. Обычно они являются сингенетическими по отношению к месторождениям. Ореолы же, формирующиеся в процессе физико-химического выветривания и разрушения рудных залежей, называются вторичными.

По размерам рудных частиц выделяют **макроореолы**, когда рудное вещество можно наблюдать невооруженным глазом, и **микроореолы**, где рудное вещество присутствует в виде тонких и субмикроскопических обособлений.

По отношению к дневной поверхности выделяются ореолы **открытые**, выходящие на поверхность, и **скрытые**, не выходящие на поверхность. Последние целесообразно подразделять на **слепые**, которые никогда не были вскрыты эрозионными процессами, и **погребенные**, перекрытые каким - то перенесенным материалом.

Классификация ореолов рассеяния рудных месторождений, включает следующие типы:

Крупнообломочные ореолы - представлены рудными обломками, валунами, галькой, размерность которых колеблется от первых сантиметров до десятков сантиметров. Они могут изучаться визуально. При этом фиксируем обломки среди элювиально - делювиальных аллювиальных, ледниковых и иных образований.

Минералогические ореолы, как и предыдущие, также большей частью относятся к категории механических. В то же время они могут включать в себя и первичную рудную вкрапленность в коренных породах. Широко распространены шлиховые (минералогические) ореолы устойчивых рудных зерен в тяжелой фракции рыхлых отложений. Отмеченные ореолы исследуются как путем визуальных наблюдений, так и (в основном) с использованием оптических методов исследований.

Геохимические ореолы включают в себя литохимические, гидрохимические, биохимические и атмохимические. Литохимические ореолы могут быть первичные, связанные с тонкой рудной вкрапленностью в коренных породах, и вторичные - в элювиально - делювиальных, аллювиальных и иных отложениях. Те и другие могут быть открытыми и погребенными. Гидрохимические ореолы проявляют себя как в открытых водотоках, так и в подземных грунтовых, трещинных и пластовых водах. Рудное вещество находится в виде истинных или коллоидных растворов. Биогеохимические ореолы представляют собой области распространения растений и их остатков с повышенными содержаниями химических элементов, свойственными определенным типам месторождений. Для изучения этих ореолов используют определенные виды растений. Размеры биогеохимических ореолов рассеяния обычно соответствуют параметрам литогеохимических ореолов. Атмогеохимические ореолы представляют собой локальное обогащение почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы паро - и газообразными соединениями, содержащими те или иные компоненты определенных типов месторождений (сульфидосодержащих, ртутьсодержащих, радиоактивных руд, угля, скоплений газа и т.д.). Образуются в результате химических преобразований минеральных скоплений.

Ореолы рассеяния всех отмеченных типов имеют важное поисковое значение. Поисковая значимость ореолов определяется тем, что при их выявлении появляется возможность непосредственного установления скоплений

полезного ископаемого или входящих в их состав отдельных минералов, элементов. Все это дает основание относить многие ореолы рассеяния к категории прямых поисковых признаков. Но в ряде случаев ореолы (особенно минералогические, геохимические) следует рассматривать лишь в ранге косвенных. Важным преимуществом ореолов рассеяния являются их размеры, обычно во много раз превышающие максимально возможные параметры рудных тел.

Остановимся более подробно на характеристике крупнообломочных ореолов. Другие типы ореолов будут рассмотрены позже.

Крупнообломочные ореолы являются основой визуальных поисков, которые проводятся с глубокой древности по настоящее время. Возможности образования их определяются устойчивостью руд к агентам физического и химического выветривания, активностью эрозионных процессов на участке месторождения, определяющей соотношением между накоплением и удалением продуктов выветривания. Выделяют четыре типа крупнообломочных ореолов:

- Элювиальные глыбовые развалы возникают на головах рудных тел и в непосредственной близости от них. Они характерны только для месторождений весьма устойчивых руд (в основном, первой группы по степени устойчивости). Формирование рудных развалов существенно облегчается при наличии легко выветривающихся вмещающихся пород (за счет избирательного удаления продуктов разрушения). Конфигурация ореолов во многом определяется расположением рудных выходов.

- Делювиальные ореолы формируются на склонах различной крутизны. Смещение рудного материала вниз по склону может достигать сотен метров. Форма ореола зависит не только от крутизны склона, но также от конфигурации и расположения рудных выходов. Она может быть не только треугольной, но и трапецеидальной (рисунок 6). Наиболее благоприятна для образования и сохранения делювиальных ореолов средняя крутизна склонов

(единицы - первые десятки градусов). В процессе сползания вниз по склону происходит механическая обработка обломков. Однако она обычно не столь значительна. В условиях проявления флювиогляциальных процессов транспорт обломков становится наиболее энергичным.

- Рудная галька в аллювиальных отложениях может уже переноситься на более значительные расстояния, достигающие километров (и даже десятков км). Механическая обработка обломков при их транспортировке в водном потоке наиболее значительна, достигая высокой степени окатанности (5-6 баллов). Целенаправленное изучение размера и окатанности обломков может привести к обнаружению рудных выходов. Такая точка зрения верна лишь в принципе. На деле же все обычно оказывается значительно сложнее. На формирование рудных ореолов в речном потоке оказывает влияние совокупность факторов. В их числе климатическая обстановка формирования аллювия (теплый гумидный, умеренно теплый гумидный, перигляциальный климат или др.), уровень эрозионного среза территории уклоны речных долин, «загруженность» потока глинистым материалом и т. д.

- Валунно-ледниковые ореолы рассеяния могут достигать значительных размеров (километры, десятки км). Обычно они имеют форму веера, в вершине которого может располагаться коренной источник рудного материала. Степень механической обработки рудных обломков зависит от способа транспортировки. При этом степень окатанности рудных валунов не является указателем дальности их переноса.

При построении ореолов рассеивания открытого типа всегда стремятся обнаружить рудные выходы и дать им оценку. При этом следует учитывать, что рудные тела, особенно в условиях пересеченного рельефа, могут претерпеть значительные механические изменения наряду с химическими. Это касается как изменения элементов залегания рудных залежей (их загибание вниз по склону), так и их мощности. Так, уменьшение мощности рудных тел, сложенных легко выщелачивающимися минералами, нередко отмечается в

приповерхностной зоне. Вследствие уменьшения объема рудного тела может произойти опускание всякого блока вплоть до полного «захлопывания» рудной полости. Подобные примеры характерны для жильных (пластовых) тел, сложенных пирротинном, полиметаллами. Увеличение мощности рудных тел может произойти не только за счет «размазывания» продуктов окисления по склону, но и увеличения их объема при окислении. Например, при замещении арсенопирита скородитом отмечается увеличение общего объема залежи где-то в 2,5 раза.

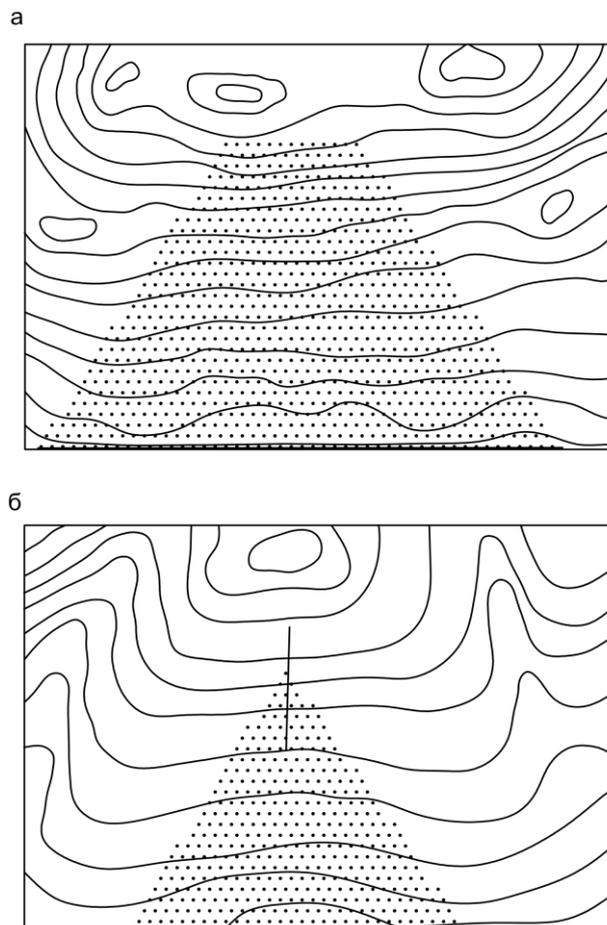


Рисунок 6 - Форма крупнообломочных ореолов рудных обломков на поверхности а - в случае простирания рудного тела вдоль склона, б - в случае простирания рудного тела поперек склона

6.3 Иные прямые поисковые признаки

Следы старых работ для многих горнорудных районов (Урала, юга Сибири, Средней Азии и др.) являются важнейшим прямым поисковым признаком в тех случаях, когда в отвалах удастся обнаружить остатки (фрагменты) рудного материала или продукты его переработки. Всегда важно обращать внимание на систему расположения старых выработок, их сгруппированность, предполагаемую глубину (или протяженность). Так, при оценке россыпной золотоносности на Урале удалось четко проследить, что степень насыщенности площади старательскими выработками (дудками, мелкими карьерами) надежно отражает позицию наиболее продуктивных (в прошлом) локальных участков и зон осваиваемых месторождений. Единичные пространственно разобщенные выработки фиксируют собой зоны, где и в настоящее время (уже по результатам разведки) проходит контур промышленного полигона (его борт).

Остатки древнего металлургического производства (в виде отвалов шлаков) нередко располагаются на берегах рек, образуя в аллювиальном потоке своеобразные потоки рассеяния. Они могут протягиваться на километры.

Примеры открытия месторождений по результатам обследования и опробования старых выработок многочисленны. Одним из примеров, подтверждающим сказанное, является открытие на юге Сибири (в Хакасии) крупного медно-кобальтового месторождения Хову-Аксы.

Термобарогеохимические данные также рассматриваются некоторыми исследователями в ранге прямых поисковых признаков. В это понятие включают ореолы пропаривания, свойственные многим эндогенным месторождениям, на основе изучения декрепитационной активности пород и определения параметров рудообразующих растворов по флюидным включениям в минералах руд. Эндогенные ореолы пропаривания представляют собой области насыщения минералов вторичными газовой-жидкими включениями, что

определяет позицию зон проработки пород рудообразующими растворами. Их размеры могут превышать параметры рудных тел в 4-5 раз. Особое значение изучение физико-химических особенностей потенциально рудоносных комплексов пород имеет при прогнозировании скрытого оруденения. В то же время этот прогноз нередко содержит много элементов неопределенности, что позволяет рассматривать полученные физико-химические данные, чаще всего в ранге косвенных поисковых признаков.

6.4 Рудоносные метасоматиты

Рудоносные метасоматиты являются одним из наиболее информативных поисковых признаков. Чаще всего они выступают в ранге косвенных. Однако в пределах достаточно изученных рудных полей и месторождений метасоматиты могут являться и прямыми поисковыми признаками.

В последние три-четыре десятилетия рудоносным метасоматитам отводится исключительно большое внимание при решении широкого круга прогнозно-поисковых задач. Без умения правильно диагностировать метасоматиты, без историко-геологического анализа последовательности этих процессов и связанного с ними рудогенеза сейчас невозможно приблизиться к пониманию природы формирования большинства гидротермальных месторождений и использовать эти данные при прогнозе, поисках и оценке изучаемых объектов.

Учение о метасоматизме в настоящее время оформилось в самостоятельное научное направление. Базируясь на законах петрогенеза, оно теснейшим образом связано с теорией рудообразования, имеет непосредственный выход на решение конкретных геологических задач.

На современном этапе достаточно детально изучены ведущие рудоносные метасоматические формации эндогенных месторождений. Их предлагается подразделять на три класса (магматогенные, метаморфогенные, поли-

генные) и целый ряд групп. Дадим краткую характеристику лишь некоторых (ведущих) из них, подчеркивая при этом их металлогеническую специализацию.

Наиболее обширен и разнообразен класс магматогенных рудоносных формаций, включающий в себя плутогенные, послемагматические и плутогенно-вулканические группы. Эти метасоматиты формируются в мезоабиссальных и гипабиссальных (реже - абиссальных) условиях в связи с интрузивными комплексами на разных стадиях эволюции рудовмещающих структур. Наибольшую встречаемость и важную поисковую значимость имеют следующие из них [8]:

Известковые скарны. Возникают в высокотемпературном ореоле интрузивов различного состава в результате воздействия растворов ранней щелочной стадии на известняки, иные карбонатсодержащие породы в близконтактной с интрузивами зоне. Реже скарны образуются по алюмосиликатным породам. Выделяются экзо- и эндоскарны, а также скарноиды и окоლოსкарновые породы. Типичными минералами скарнов являются гранаты ряда - гроссуляр-андрадит, пироксены серии диопсид-геденбергит, волластонит, эпидот, скаполит, везувиан, плагиоклаз. Наиболее характерный диапазон формирования скарнов приходится на интервал температур 740 - 380⁰С. По температурному параметру скарны подразделяются на фации волластонит-плагиоклазовая, пироксен-гранат-волластонитовая, пироксен-гранатовая, гранат-эпидотовая, пироксен- эпидотовая.

С формированием известковых скарнов сопряжено возникновение значительной группы месторождений. В их числе - железа, меди, вольфрама, олова, свинца, молибдена, золота, бериллия и др. Промышленное значение могут иметь и более поздние рудообразующие процессы, наложенные на скарны (Au, U, Be, Co, Pb и др.).

Грейзеновая формация. Эти метасоматиты связаны с постмагматической деятельностью кислых и ультракислых гранитов. Они возникают при

проявлении высокотемпературного кислотного метасоматоза в условиях умеренных глубин в апикальных частях гранитных массивов и во вмещающих породах различного состава (но близких по параметрам с гранитоидами). Ореолы грейзенизации отличаются исключительным разнообразием. Так, для апогранитных грейзенов характерна следующая последовательность фаций: кварц - полевошпатовая, мусковит - полевошпатовая, кварц - мусковитовая, мусковит - кварцевая, кварц - топазовая, турмалин - кварцевая и т.д. Непрерывно - прерывистое развитие процесса грейзенизации обуславливает формирование рядов грейзеновых фаций, что приводит к появлению полей со сложной зональностью. Так, фациальный ряд в алюмосиликатных породах имеет вид: грейзенизированный гранит-мусковит-кварцевый грейзен - кварцевый грейзен - топаз - кварцевый грейзен - топазовый грейзен - мусковитовый грейзен - турмалин - кварцевый грейзен - кварцевая жила.

В настоящее время понятие «грейзеновая формация» расширилось. Оно включает в себя и продукты метасоматических преобразований горных пород более основного состава в случае замещения последних новообразованиями, свойственными грейзенам. Так, апобазитовые и апогипербазитовые грейзены включают в себя фации - плагиоклазовую, мусковитовую (мусковитового слюдита), флогопитовую (флоголитового слюдита), апокарбонатную грейзены - слюдисго - флюоритовую (мусковит - флюоритовую), слюдитовую (мусковитового слюдита).

Температурный интервал формирования отдельных фаций грейзенов достаточно широкий - от 500 - 350°C (для мусковит - полевошпатовой фации) до 400 - 200°C (фация слюдитов). С грейзенами связаны промышленные месторождения молибдена, вольфрама, бериллия, лития, драгоценных камней.

Плугоногенно-вулканогенные рудоносные метасоматиты образуются в связи с плутоническими и вулканическими проявлениями магматизма, нередко представляющими вулканоплутонические ассоциации.

Пропилитовая формация. Пропилитизация - это распространенный тип

гидротермальных изменений в пределах рудных полей и месторождений. Пропилиты формируются в широком диапазоне геологических условий нередко носят площадной характер. Охватывают породы основного и среднего состава проявляя себя в конце вулканических и вулкано-плутонических циклов.

Выделяются приповерхностные, субвулканические и гипабиссальные пропилиты. Обычно пропилитизированные породы слабо рудоносны. Однако в большинстве случаев эти изменения предваряют последующие постмагматические процессы и служат благоприятной средой для рудоотложения.

По роли в процессах рудообразования предложено выделять три типа пропилитов.

Дорудная пропилитизация связана с процессами кислотного выщелачивания. Именно в полях предварительно пропилитизированных пород размещаются многие рудные объекты - медноколчеданные, колчеданно – полиметаллические, меднопорфировые, золоторудные, урановые. Так, для пропилитизированных пород колчеданных рудных полей характерна минеральная ассоциация эпидот + хлорит + альбит + карбонат + кварц + пирит.

Апоскарновые пропилиты характерны для скарновых месторождений железа. В составе месторождений присутствуют амфибол актинолит-тремолитового ряда, эпидот, кальцит, кварц, хлорит и альбит.

Пропилиты, сопряженные с гидротермальным рудоотложением, имеют ограниченное распространение. Для них характерна зональность. На одном из меднопорфировых месторождениях в гранодиоритах метасоматическая колонка представлена в следующем виде: плагиоклаз, калишпат, кварц, роговая обманка, биотит - альбит, серицит, кварц- эпидот, хлорит, карбонат - альбит, серицит, кварц, хлорит, эпидот - серицит кварц, хлорит, эпидот - кварц , хлорит , эпидот - кварц , эпидот везувиан альбит.

Лиственит-березитовая формация. Этот вид метасоматических изме-

нений, имеет наиболее широкое распространение. Характерен для средне-, низкотемпературных гидротермальных месторождений, образованных в широком диапазоне геологических условий. В зависимости от состава магматических пород формация представлена двумя фациями: березитовой и лиственитовой. Первая проявляет себя в породах кислого и среднего состава, вторая - соответственно магматитам ультраосновного и основного состава. Березиты представлены ассоциацией – кварц, серицит (мусковит), карбонат (анкерит, доломит, кальцит), пирит, а листвениты - кварц, карбонат (брейнерит, доломит, анкерит), серицит, фуксит, пирит.

Температура формирования метасоматитов лиственит-березитовой формации колеблется в пределах 390 - 210⁰С. С ними связаны в первую очередь, месторождения золота, а также полиметаллов, молибдена, урана, сурьмы и ртути, горного хрусталя и прочего камнесамоцветного сырья.

Гумбеитовая формация. К ней относятся апогранитные анкерит-ортоклазовые породы. Впервые они были изучены на Гумбейском месторождении кварц-шеелитовых руд (Ю. Урал). Наряду с ортоклазом в этих метасоматитах отмечаются микроклин или адуляр. Анкерит-ортоклазовая зона и кварцевые жилы составляют единую метасоматическую колонку.

Кварц - анкерит - ортоклазовые гумбеиты характеризуются следующей зональностью: кварцевый сиенит - кварц, альбит, серицит, ортоклаз, флогопит, пирит - кварц, ортоклаз, флогопит, анкерит, пирит - кварц, ортоклаз, анкерит, пирит.

Температуры формирования метасоматитов гумбеитовой формации определяются в пределах 360 - 275⁰С. Металлогеническая специализация - шеелитовые и урановые месторождения. На основе изучения гумбеитов в месторождениях Казахстана и Урала выявлено, что эти породы являются более высокотемпературными, нежели березиты (которым они предшествуют). Поэтому в продуктах формации золотое оруденение не отмечается.

Аргиллизитовая формация. Метасоматиты формации формируются в районах распространения гипабиссальных и относительно малоглубинных интрузий пестрого состава в связи с проявлениями вулканический комплексов, а также и в иных геологических обстановках (например, зонах долгоживущих глубинных разломов). Обычно аргиллизиты фиксируют собой завершающие этапы развития рудовмещающих структур (в первую очередь, в связи с процессами тектоно-магматической активизации). Образуются аргиллизиты при метасоматическом преобразовании алюмосиликатных и силикатных пород. Представлены они обычно ассоциацией глинистых минералов - от монтмориллонит-гидрослюдисто-каолинитовой до кварц – каолинитовой.

Типовые метасоматические колонки аргиллизитов на урановых и сурьмяно - ртутных месторождениях жильного типа, выглядят следующим образом: порфировидные граниты (плагиоклаз, ортоклаз, кварц, биотит, роговая обманка, сфен, магнетит) - зона карбонатизации и хлоритизации (плагиоклаз, ортоклаз, кварц, биотит, магнетит, хлорит, карбонат) - зона монтмориллонитизации (альбит, биотит, ортоклаз, кварц, монтмориллонит, карбонат, гематит) - зона гидрослюдизации (альбит, кварц, гидрослюда, пирит) - зона окремнения (халцедон, кварц). В случае прожилково - вкрапленных рудных тел штокверкового типа зональность менее контрастна или не выражена вообще вследствие возникновения зон смешанного состава хлорит-монтмориллонитовой, монтмориллонит- гидрослюдистой, гидрослюдисто-каолинитовой и т.д. На подобных объектах вслед за стадией кислотного выщелачивания следует стадия осаждения оснований, сопровождаемая образованием разнообразной прожилково-вкрапленной минерализации.

Температуры формирования аргиллизитов - обычно менее 150°-210°С. Они являются ведущими процессами окolorудных изменений пород на низкотемпературных месторождениях золота, золотосеребряных руд, урана, вольфрама (кварц-ферберитовые руды), бериллия (флюорит-

берtrandитовые руды), сурьмы и ртути, горного хрусталя и т.д.

Использование данных по метасоматитам в практике геологического прогнозирования и поисковой оценке площадей чрезвычайно многоаспектно и заключается в необходимости их систематизации и оконтуривания (выделение ареалов и ореолов), изучения метасоматической зональности в пределах рудных районов, полей и месторождений, использовании полученной информации при подсчете прогнозных ресурсов.

6.5 Прочие виды поисковых признаков

Они достаточно разноплановы. Остановимся лишь на краткой их характеристике.

Геофизические аномалии. Использование геофизической информации при геологическом прогнозе и поисках является обязательным. Фиксируемые аномалии основаны на использовании различий в физических свойствах горных пород и заключенных в них минеральных скоплений полезных ископаемых. В отдельных случаях выявленные аномалии выступают в ранге прямых поисковых признаков. Но чаще всего - это косвенные признаки. И при прогнозе рудоносности необходимо использовать весь комплекс имеющихся геологических данных.

В настоящее время при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых используют различные модификации ведущих геофизических методов - магниторазведки, электроразведки, гравиразведки, сейсморазведки, радиометрии. Во всех случаях в их основе лежит выделение и оконтуривание геофизических аномалий. Под ними понимают достаточно заметно отличающиеся от нормальных (фоновых) значения физических полей и иных измеряемых величин, а также особенности распределения изучаемых параметров в пределах оцениваемой площади. Характеристика аномалий ведущих физических свойств дается студентам в специальной

дисциплине.

Геоморфологические признаки. Под ними подразумевают положительные и отрицательные элементы микрорельефа, связанные с наличием полезных ископаемых или околорудных измененных пород. Наиболее отчетливо эти признаки проявляют себя на участках «зрелого» (пенепленизированного) рельефа. Положительные формы рельефа возникают в тех случаях, когда рудные тела (рудноносные метасоматиты), обладая повышенной устойчивостью к агентам выветривания, доминируют среди менее устойчивых пород. Например, гривы кварцевых жил, пегматитов, выходы окварцованных пород (джаспероидов, кремнистых известняков, вторичных кварцитов). Отрицательные формы рельефа характерны для легко выветривающихся рудных тел. Сюда попадают различные типы рудных скоплений, связанных с карстом, а также иные процессы в зоне гипергенеза, связанные с выносом вещества из приповерхностной зоны. Например, месторождения бокситов и бурых железняков в карстовых зонах, силикатного никеля, древние россыпи золота в карсте (последний здесь играет важную улавливающую роль при перемещении обломочного материала водными потоками).

Геоботанические признаки. К ним относятся:

- растения индикаторы, произрастающие на почвах, обогащенных теми или иными металлами,

- специфические изменения во внешнем облике растений, связанные со стимулирующим или угнетающим воздействием присутствующих в почве элементов и соединений;

- развитие растительных сообществ, связанных с определенными типами пород.

Историко-географические и археологические данные. Наиболее интересны в аспекте поисковой значимости материалы археологических раскопок. В их числе посуда, монеты, оружие, указывающее на наличие в районе тех или иных металлических руд. Также ценность представляют находки

орудий производства - клиньев, молотков, предметов быта и т. д.

Заслуживают всегда внимания и сведения по топонимике, объясняющие происхождение географических названий. Они косвенно могут быть связаны с месторождением полезных ископаемых. Например, Магнитная гора, Белая гора, река Оловянная, река Слюдянка, Свинцовый лог, гора Алтын - Таш и др.

Контрольные вопросы:

- 1 Что такое "поисковые признаки". Их систематика, отличие от поисковых критериев.
- 2 Как можно систематизировать основные рудообразующие минералы по их поведению в зоне окисления.
- 3 Характеристика основных рудообразующих минералов, относимых к первой группе.
- 4 Какие минералы входят в состав второй группы. Как интерпретировать данные опробования зоны окисления на объектах этой группы.
- 5 Что происходит в зоне окисления с рудными минералами третьей группы. Какую поисковую информацию они несут.
- 6 Каково своеобразие рудообразующих минералов, относимых к четвертой группе. Каковы принципы поисковой разведки бурожелезняковых образований.
- 7 Пустоты выщелачивания минералов как поисковый признак, их систематика.
- 8 Ореолы рассеяния рудного вещества как поисковый признак. Приведите классификацию ореолов рассеяния.
- 9 Следы старых разработок как поисковый признак.
- 10 Систематика метасоматически измененных пород как поисковых

признаков.

11 В каких условиях формируются известковые скарны. Их состав, поисковое значение.

12 Грейзены как поисковый признак, примеры

13 Поисковое значение пропилитов

14 Метасоматиты березит – лиственитовой, гумбеитовой формаций, их поисковое значение.

15 Аргиллизитовая формация как индикатор малоглубинных рудообразующих процессов, примеры.

16 Охарактеризуйте значимость поисковых признаков - геофизических аномалий, геоморфологических, геоботанических, историко – географических.

7 Группировка методов поисковых работ, их характеристика

Проведение поисковых работ предусматривает сбор и обобщение геологической информации, отражающей потенциальную рудоносность оцениваемой территории. Главным принципом, положенным в основу применяемых методов поисковых работ, является выявление и оценка характера тех аномалий, которые создаются полезными ископаемыми или структурами, их вмещающими. Другие принципы (о которых говорилось выше) - необходимость соответствия поисковых методов поисковыми признаками, а также обоснованность рационального комплекса методов.

Применение тех или методов поисков может осуществляться в различных условиях: на поверхности земли, в пределах акваторий морей и океанов, в воздушном пространстве и космосе. При их реализации применяют следующие, независимые друг от друга источники получения информации:

- геологическая документация естественных и искусственных обнажений;
- опробование полезных ископаемых, включающее различные виды - химическое, минералогическое, геохимическое, техническое, технологическое;
- геофизические данные, содержащие информацию о площадных наблюдениях, а также результатах исследования скважин.
- данные аэро - и космодешифрирования.

С учетом сказанного могут быть выделены следующие современные методы поисков твердых полезных ископаемых [1]:

А. ГРУППА НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ

1 Геологические методы;

- геологическая съемка;

- поисковые работы.

2 Минералогические методы

- метод изучения и оценки выходов полезных ископаемых;
- методы выявления и оценки ореолов рассеяния минералов в рыхлых отложениях, включающие: валунно-ледниковый, обломочно-речной, шлиховой;
- методы выявления и оценки ореолов в коренных породах минералогическое картирование, протолочно – шлиховой;

3 Геохимические методы:

- литохимические методы в рыхлых отложениях и коренных породах;
- гидрогеохимические методы - в поверхностных и подземных водах;
- биогеохимические методы;
- * атмосферогеохимические методы.

4 Геофизические методы: магнитометрические, гравиметрические, сейсмометрические, электрометрические, радиометрические, ядерно- геофизические.

5 Горно-буровые методы.

Б. ПОДВОДНЫЕ МЕТОДЫ

1 С надводных кораблей.

2 С подводных кораблей.

3 Аквалангистами.

В. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ (реализуемые с самолетов и космических кораблей)

1 Аэрогеологические методы:

аэровизуальные и поисковые наблюдения;

дешифрирование аэрофотоматериалов и космоснимков.

2 Аэрогеофизические методы:

аэромагнитная съемка;
аэрогаммасъемка;
аэроэлектрометрическая съемка;
аэротермическая съемка.

Перейдем к краткому рассмотрению ведущих методов поисковых работ.

7.1 Наземные методы поисков

7.1.1 Геологические методы

Геологическая съемка является основной при поисках месторождений полезных ископаемых. Задачей геологической съемки любого масштаба является составление геологической карты. Последняя представляет собой проекцию на горизонтальную плоскость следов пересечения геологических тел и рельефа местности, т.е. изображение в определенном масштабе геологических образований, выходящих на дневную поверхность.

Прогнозно-минерагеническая оценка площадей, сопровождаемая оценкой прогнозных ресурсов, является обязательным атрибутом геологических работ любого масштаба. Но особо важное значение они приобретают при проведении крупномасштабного геологического картографирования в м. 1:50000 (1:25000). Основной задачей этих работ является геологическое изучение недр с целью выявления локальных площадей и структур, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых. Объектом изучения являются перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых минерагенические зоны, рудные районы и узлы, части продуктивных бассейнов и т.д. В состав работ м. 1:50000 входят геологические (ГС-50, ГДП-50, ГГК-50), гидрогеологические и эколого-геологические съемки, опережающие и сопровождающие их дистанционные и наземные геофизиче-

ские, геохимические, геоморфологические, прогнозно-минерагенические и другие исследования.

При геологосъемочных работах м. 1:50000 производится изучение участков распространения полезных ископаемых, установление геологической природы выявленных геофизических и геохимических аномалий, выделение новых или уточнение параметров известных рудных полей и перспективных участков с оценкой прогнозных ресурсов.

В имеющихся методических рекомендациях к проведению поисковых работ при геологических работах предлагается их подразделять на общие и детализационные.

Задачей поисков является определение перспектив обнаружения всех возможных месторождений полезных ископаемых. Они осуществляются поисково-съемочными маршрутами и другими средствами визуальной оценки с широким использованием аэровизуальных наблюдений, аэро - космодешифрирования, интерпретации геофизических и геохимических данных. При этом выделяются, картируются и изучаются (с точки зрения их потенциальной продуктивности на определенные типы полезных ископаемых) геологические тела, свиты, пачки, горизонты и т.д. - для осадочных пород; отдельные массивы, их фазы, дайки и т.д. - для магматических. Изучаются процессы метаморфизма, гипергенеза, выявляются зоны проявления метасоматизма, оцениваются естественные выходы полезных ископаемых. Для всех геологических образований должна быть определена их геохимическая и металлогеническая специализация. По результатам выполненных исследований осуществляется оценка прогнозных ресурсов категории P_2 для основных полезных ископаемых и категории P_3 по вновь установленным площадям.

Детализационные поисковые работы проводят уже на перспективных участках, выделенных по комплексу критериев, прямых и косвенных признаков для выяснения возможностей обнаружения полезных ископаемых конкретного промышленного типа и подсчета прогнозных ресурсов катего-

рии P_1 . В условиях хорошей и удовлетворительной обнаженности горных пород ведущим методом изучения являются визуальные наблюдения, сопровождаемые геологической документацией и опробованием. Параллельно проводят геохимические, геофизические работы, аэрофотодешифрирование. На слабо обнаженных участках на заключительных этапах изучения объекта задаются горные выработки, буровые скважины. Их задача - прослеживание потенциально продуктивных геологических элементов, контролирующих размещение полезных ископаемых, а также поиски и вскрытие потенциальных минеральных скоплений.

Поисковые работы проводятся на объектах, являющихся частью бассейнов, рудных районов, узлов и полей или их частей, по которым имеются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1 [6]. Поиски могут проводиться и на ранее опоскованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении и рудоносности перспективных площадей, изменением конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследований, внедрением новых эффективных технологий поисковых работ и т.д. В зависимости от сложности геологического строения территории, формационного типа оруденения, глубинности исследований поиски могут проводиться в разных масштабах - от 1:200000 до 1:10000 (и мельче). Рекомендуется руководствоваться при выборе масштаба поисков размерами оцениваемой площади и учитывать при этом величину потенциальных объектов. Если площадь более 330 км² - масштаб 1:50000, от 80 до 330 км² - 1:25000, от 15 до 80 км² - 1:10000, от 5 до 15 км² - 1:5000, менее 5 км² - 1:2000. Известно, что кондиционность геологической съемки определяется необходимостью получения достаточного количества наблюдений. Поисковая сеть также должна удовлетворять определенным требованиям - не менее 1 точки на 1 см² в масштабе карты.

Поиски, помимо маршрутных геологических наблюдений, всегда включают в себя комплекс минералогических, геохимических, геофизических ме-

тодов исследований, сопровождаются проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для оценки скрытого и погребенного орудения используется глубокое бурение в сочетании с геофизическими и геохимическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий производства работ, накопленного опыта применения прогнозно - поисковых комплексов.

Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованной площади. По совокупности полученной геологической и иной информации, ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии и участки. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категории P_2 и P_1 . По материалам поисковых работ составляются геологические карты опосредованных участков в соответствующем масштабе, карты результатов геофизических и геохимических исследований. Они должны отражать геологическое строение и закономерности размещения продуктивных структурно-вещественных комплексов. По результатам поисков дается геолого-экономическая оценка выявленных объектов по укрупненным показателям, излагаются рекомендации о целесообразности и очередности дальнейшего проведения работ.

Минералогические методы. Метод изучения оценки выходов полезных ископаемых является одним их наиболее эффективных, ибо базируется на выявлении и картировании прямых поисковых признаков.

Обломочно-речной метод является ведущим среди геолого-минералогических и одним из наиболее старых поисковых приемов. И сейчас использование этого метода может быть достаточно эффективным.

Сущность метода состоит в обнаружении и прослеживании рудных обломков с повышенной устойчивостью к выветриванию (а также рудоносных метасоматитов) в пределах руслово-долинных отложений рек. Фиксируются,

на основе обследования вскрытого аллювия русловых отложений и галечных кос, все места находок рудных обломков, дается их оценка по совокупности параметров состав, окатанность (по 5-и 6-балльной системе и размер (оси - а - длина, в - ширина, с - толщина). Все это дает возможность производить пространственный анализ особенностей галечного материала (в том числе на количественной основе). Исчезновение интересующих нас обломков (например, жильного кварца рудоносного облика) свидетельствует в пользу того, что в данном месте рудные обломки поступают со склона из делювия. Дальнейшие поиски ведут уже на склоне с учетом формы обломочного веера. Канавы и мелкие шурфы проходят в верхней части выявленного склонового обломочного ореола (или несколько выше его по склону). Вскрытые рудные тела подлежат геологической документации опробованию и оценке.

Валуно-ледниковый метод применим для поисков месторождений на площадях развития ледниковых отложений. Известно, что передвигающийся ледник разрушает горные породы и, в том числе, полезные ископаемые, перемещая отторгнутый материал в направлении своего сползания. При этом продукты разрушения перемешиваются, измельчаются и частично окатываются. Однако сколько-нибудь существенной сортировки обломков по плотности, крупности не происходит. Площадь рассеяния и дальность переноса рудных обломков зависят от характера и условий движения ледника, доледниковых форм рельефа, механической прочности руды и вмещающих пород. Основанием для постановки поисков чаще всего служит обнаружение единичных рудных обломков при геологической съемке или выполнении каких-либо других работ (прокладке дорог, проходке траншей, рытье котлованов и т.д.).

Поиски проводятся в два этапа. Вначале изучают ледниковые отложения в месте нахождения первого рудного валуна (геолого-геоморфологическая обстановка, состав валунного материала). Затем определяют направление движения ледникового потока, учитывая характерные признаки (ледниковые

шрамы, бараньи лбы и т.д.) и ледниковые формы рельефа. Определившись по данному вопросу, задают поисковые линии в направлении, поперечном движению ледника. По линиям изучают валунный материал с поверхности, а также в моренных отложениях, вскрываемых шурфами. При этом стремятся вскрыть отложения не менее чем на 1 м, отбирая валовые пробы. В них исследуют наличие или отсутствие рудного материала, а также валунов пород, сопутствующих оруденению. В их числе метасоматиты, вмещающие оруденение породы (например, основные породы для медно-никелевого оруденения) и т.д. Все места обнаружения обломков наносят на карту и определяют контуры ореола рассеяния. Эти материалы сопоставляют с геологической картой и определяют возможное место положение источника, сформировавшего рудный веер.

Последующая задача - выявление коренного рудного тела и его перспективная оценка. При большой мощности рыхлых отложений целесообразна постановка геофизических работ с проверкой выявленных аномалий буровыми скважинами или горными выработками.

Шлиховой метод поисков основан на изучении механических ореолов рассеяния минералов. Он нашел широкое применение в практике геологосъемочных и поисковых работ благодаря своей простоте, оперативности, экономичности и высокой надежности получаемых результатов. Используют шлиховой метод уже очень давно. Им открыто большое число месторождений золота, платины, алмаза, вольфрама, редких земель, хрома и т.п. Шлихом называют концентрат тяжелых минералов, полученных при промывке рыхлых отложений. Состоят шлихи преимущественно из тяжелых породообразующих и акцессорных минералов коренных пород, среди которых отмечаются зерна и промышленно значимых, а также минералы-спутники оруденения и гипергенно новообразованные. С целью выявления и оконтуривания минералогических ореолов рассеяния отбирают шлиховые пробы, представляющие собой фиксированную по объему или массе рыхлую горную породу,

взятую из глинисто-песчано-гравийно-галечного материала и промытую с соблюдением определенных требований. Минералы, входящие в состав шлихов, имеют плотность, превышающую $2,9 \text{ г/см}^3$. Они образуют тяжелую фракцию шлиха. Количество шлиховых минералов, выраженное в г/см^3 или кг/м^3 , извлекаемое при промывке, представляет собой выход шлиха. Пробы, получаемые при промывке раздробленных коренных пород и руд, называют протолочными.

Шлиховой метод включает в себя целый ряд операций. Среди них: выбор места и отбор проб, документация и промывка проб, анализ шлихов, обобщение результатов шлихового опробования.

Отбор проб. Место отбора проб имеет важное значение и определяется совокупностью геологических и геоморфологических факторов, а также масштабом поисков. Обычно пробы в первую очередь отбирают из русловых, долинных или террасовых отложений. При опробовании всегда отдается предпочтение галечным, неравномернозернистым гравийным, крупно- и среднезернистым песчаным (с галькой) отложениям. Благоприятны слабоотсортированные накопления, содержащие связующую глинистую массу. Менее подходят тонкообломочные хорошо отсортированные породы (они могут содержать только мелкие и тонкие минералы). Главный принцип - получить при опробовании максимальный выход шлиха. Практикой поисковых работ выявлены места, где чаще всего имеют место наиболее высокие концентрации шлиховых минералов. Это обычно: нижние части крутых намывных берегов, участки замедления течения (места расширения реки, ниже крутых поворотов, ниже порогов и перекатов и т.д.), верхние части выпуклых кос, участки русла с чередованием коренных пород и маломощного аллювия.

Для увеличения представительности опробования целесообразно, в ряде случаев, отбор малых проб и их экспрессная промывка. При этом определяются места с повышенным выходом тяжелой фракции.

Для установления «фона» шлиховых минералов, поступающих в рыхлые отложения при разрушении горных пород (помимо рудных жил), необходимо изучать их тяжелую фракцию (акцессорные минералы) путем отбора и исследования протолочек.

Густота сети опробования зависит, в первую очередь, от масштаба выполняемых работ, а также геологической обстановки, степени развития гидросети и т.д. По рекомендации А. П. Сигова (1939) отбираемый шлик на стадии поисков должен приходиться на 1 - 4 км² площади карты. На благоприятных для локализации оруденения участках густота сети опробования возрастает.

Документация шлиховых проб производится одновременно с их отбором. При этом в полевой книжке (и журнале) записываются: номер пробы, адрес места отбора, глубина отбора, литологический состав, генетический тип отложений, их возраст, промытый объем породы. Промытый шлик помещается в заранее подготовленный бумажный пакет (капсуль), где указывается основная информация.

Промывка шлиховых проб является искусством, требующем определенного навыка. От качества промывки во многом зависит достоверность получаемых результатов. В практике поисковых работ обычно применяют азиатский ковш или сибирский лоток. При детальными работами, требующими обработки значительных объемов породы, используют разведочные бутары, вашгерды и иные современные установки (типа ПОУ - 4М, «Проба» и т.д.).

Анализ шлиховых проб осуществляется в шлиховой лаборатории и состоит в качественном и количественном определении составляющих его минералов. Минералогическому изучению предшествует сепарирование проб, предусматривающее их лабораторное разделение на ряд фракций: магнитную, электромагнитную, немагнитную тяжелую и легкую. Каждая фракция характеризуется своим спектром минералов. Так, магнитную фракцию составляют такие минералы, как магнетит, титаномагнетит, пирротин, магнит-

ная платина и др.; электромагнитную - минералы группы пироксена, амфибола, граната, а также ильменит, гематит, хромит, вольфрамит, монацит, турмалин и т.д., тяжелую немагнитную - сульфиды, касситерит, шеелит, циркон, монацит, рутил, корунд, апатит, сфен, топаз, золото, платина и др.; легкую - кварц, полевые шпаты, слюды, сростки иных породообразующих минералов, глауконит и т.д. Для диагностики минералов используют различные приемы исследований, включающие помимо традиционных приемов (габитусные особенности, цвет, черта, твердость, спайность), также и люминесценцию, иммерсию, микрохимическое, рентгеноструктурное изучение и т.д. Количественная характеристика шлиха отражается как в процентном содержании каждого минерала, в единицах зерен на шлих (если минерала мало), так и (учитывая разный выход тяжелой фракции) в весовом выражении (в $г/м^3$, $кг/м^3$).

Отражение результатов шлихового опробования достаточно многопланово. Однако основным продуктом этих исследований является **составление шлиховых карт**. Существует ряд приемов их подготовки. К числу простейших относится точечная карта, на которой отмечаются места отбора проб и индексами указываются встреченные минералы. На кружковых картах в месте взятия пробы ставится кружок, диаметр которого пропорционален выходу шлиха.

Кружки разделяют на секторы, количество и размеры которых определяются набором и содержанием отдельных минералов. Каждый сектор соответствует определенному минералу и закрашивается своим цветом. Вместо кружков отображение результатов минералогического анализа возможно и в виде столбцов. Несколько иной подход используется при составлении **ленточных карт**. В местах отбора проб пропорционально количеству встреченного полезного минерала откладывают линии, перпендикулярные направлению течения реки, по ширине которых можно судить об изменении содержания полезного минерала в направлении потока.

В случае опробования водоразделов и склонов при наличии регулярной системы наблюдений целесообразно составление **ореольных шлиховых карт** (в изолиниях содержаний полезных минералов в процентах или кг/м³). Такие карты наиболее информативны. Они позволяют судить о характере и размерах ореолов механического рассеяния минералов, устанавливать места наибольшей их концентрации. Последующий анализ полученных данных, выполняемый с учетом всех геолого-геоморфологических материалов, позволяет выявлять коренные и россыпные месторождения полезных ископаемых, намечать перспективные площади для их поисков.

Несмотря на длительный период своего использования, шлиховой метод поисков непрерывно совершенствуется. Одним из наиболее перспективных направлений при этом является внедрение **шлихо-геохимических исследований**. Метод (шлихо-геохимический) основан на избирательном обогащении тяжелой фракции отдельными рудными элементами, генетически связанными с эродируемыми коренными источниками. Выявлены основные минералы - концентраторы. Таковыми являются: Cr - пироксе, магнетит; Ni и Co - магниевые пироксены, оливин, биотит; Cu - пироксены, амфиболы, магнетит, ставролит; Zn - биотит, амфиболы, магнетит, ставролит; Au - гидроксиды железа, марганца и т.д. Для геохимического изучения применяют: серый или черный шлик в целом; магнитную фракцию; электромагнитную и немагнитную фракции; монофракции отдельных минералов. Для исследования состава фракций шлика используют приближенно-количественный спектральный метод, реже другие (спектральный количественный, спектрохимический и др.)

Успешно развивается в последнее время **кристалломорфическое направление** при изучении шлихов. Установлено, что минералы становятся габитусными с максимальной ретикулярной плотностью в период наиболее продуктивной кристаллизации. Поэтому богатым частям рудных тел соответствуют и кристаллы с наиболее плотными гранями. При этом формиру-

ются простейшие из возможных замкнутых многогранников. Кристалломорфический метод прогнозирования оруденения осуществляется на основе массового исследования морфологии зерен в шлихе с сохранившимися гранями кристаллов. Их затем классифицируют по кристалломорфическим типам.

При размыве рудных тел в ореолах создается отраженная зональность в размещении кристаллов, изучение которой можно использовать для установления уровня эрозионного среза рудных тел и прогнозной оценки площади.

Минералогическое картирование - главный метод топоминералогических исследований. Топоминералогия, по современным представлениям, изучает распределение минералов и минеральных ассоциаций в геологических системах разных масштабов, различных структурных уровней, выявляет при этом фациальную изменчивость состава, морфологии и свойств минералов. Основной задачей исследований является установление связи минералогических поисковых и оценочных признаков с конкретными геологическими структурами и геологическими телами. Минералогическое картирование выявляет минералогические аномалии - участки максимального проявления и концентрации соответствующих поисковых признаков. По результатам этих работ выделяют площади, перспективные для выявления тел полезных ископаемых, требующие дальнейших более детальных исследований.

При проведении поисковых и оценочных работ минералогические исследования позволяют решать целый ряд конкретных геологических задач. В их числе: выявление рудных тел по аномально повышенным содержаниям рудных минералов и минералов - индикаторов, оценка рудопроявлений по минералам зоны окисления и коры выветривания; минералогическое опробование геофизических и геохимических аномалий, выявление минералов-индикаторов; предварительная разбраковка выявленных рудопроявлений с учетом уровня эрозионного среза рудных зон и рудных тел; выявление элементов строения рудных зон как фактора изменчивости технологических

свойств руд.

Объектами исследования при минералогическом картировании являются как отдельные минералы, так и минеральные парагенезисы. Особо важное значение имеет изучение и картирование минералов-индикаторов оруденения. При этом индикаторную роль могут иметь как сами факты обнаружения того или иного минерала, их количества, так и их отдельные черты (особенности состава, морфологии, структуры, физических свойств). Принято минералы-индикаторы подразделять на прямые и косвенные. К прямым относятся: гипергенные минералы зоны окисления сульфидных руд, а также пустоты выщелачивания отдельных минералов (имеющих характерные формы выделений), псевдоморфозы по рудным минералам; минералы - спутники, выделявшиеся в рудных зонах одновременно с «основным» минералом (пироп - спутник алмаза, полихромный турмалин - спутник танталового, литиевого и др. оруденения). В роли косвенных минералов - индикаторов могут выступать: минералы, свидетельствующие о развитии тех или иных фаций метаморфизма (кианит - указывает на появление соответствующих зон в обрамлении плутоно-метаморфических ядер; андалузит и кордиерит указывают на возможность редкометальных пегматитов; гранаты, пироксены, везувиян - индицируют позицию скарново-рудных зон, смешаннослоистый силикат - тосудит - индикатор ртутного оруденения; находки литийсодержащих слюд, топаза, амазонита благоприятны для обнаружения танталового оруденения и т.д.).

В роли индикаторов оруденения могут выступать не только сами минералы, но и их определенные типоморфные особенности. К числу минералов, проявляющих особенности формы, состава, структуры выделений в зависимости от условий рудообразования, относятся: касситерит, турмалин, самородное золото, отдельные сульфиды (пирит, блеклые руды, арсенопирит и др.), флюорит и некоторые другие. Не менее важное поисковое значение имеет картирование минеральных парагенезисов. При этом нужно стремиться

ся, чтобы минералогические карты рудных районов и полей отражали не только ареолы парагенезисов, но и количественные соотношения их объемов. При картировании продуктивных парагенезисов исследуют их концентрационные и конституционные признаки. Первые включают изменение содержаний минералов (или отношений содержаний), вторые - изменение состава и свойств отдельных минералов.

Геохимические методы.

Геохимические методы поисков и оценки полезных ископаемых получили широкое развитие. Высокая эффективность отмеченных методов проявляется в том, что в настоящее время они используются на всех стадиях геологоразведочного процесса. Геохимические методы позволяют оперативно и относительно дешево определять весьма низкие концентрации многих интересующих нас химических элементов и по большей совокупности проб устанавливать не только фон рассеяния элементов в районе исследований, но и выделять аномальные участки (поля) повышенных концентраций, отвечающие потенциальным рудным полям и месторождениям.

В зависимости от характера ореолов рассеяния химических элементов выделяются следующие геохимические методы поисков: литохимические, гидрохимические, биохимические, атмосферические.

Литохимический метод основан на изучении вторичных и первичных ореолов рассеяния химических элементов в горных породах. Задача поисковых работ сводится к тому, чтобы на фоне рассчитанного для конкретного района какого-то среднего содержания («нормального» поля) выявить локальные участки («аномального» поля) определенных химических элементов. С этой целью на основе систематического опробования пород и определения в них содержаний элементов отстраиваются ореолы рассеяния. И уже

с учетом геологических, геоморфологических особенностей изучаемого района появляется возможность обосновать позицию площадей, участков, перспективных для обнаружения скоплений полезных ископаемых.

Рассматриваемые методы включают в себя литохимические поиски по первичным ореолам в рудовмещающих толщах, а также по вторичным (гипергенным) ореолам и потокам рассеяния в рыхлых породах.

Поиски по первичным ореолам направлены на выявление геохимических аномалий, включающих как сами рудные тела, так и связанные с ними первичные ореолы химических элементов (возникшие в процессе образования месторождений). Обычно окаймляющие рудные залежи зоны обогащены теми или иными элементами (хотя в некоторых случаях они могут быть и обедненными). По первичным геохимическим ореолам возможно выявление рудных тел как выходящих на поверхность, так и скрытых (слепых).

Метод включает в себя следующие основные операции: выбор места отбора проб, отбор проб, их обработку, а также обобщение и интерпретацию полученных результатов.

Литохимические поиски по первичным ореолам в условиях хорошей и удовлетворительной обнаженности ведутся по линиям геологических маршрутов. Густота сети опробования в первую очередь определяется масштабом исследований. Так при м. 1:50000 расстояние между профилями должно составлять 500 м, расстояние между пробами по маршруту 50 м, число проб на 1 км² - 40, при м. 1:25000 эти цифры соответственно следующие - 250 - 200 м, 50 - 20 м, 80 - 250 проб, при м. 1:10000 -100 м, 20 -10 м, 500 -1000 проб и т.д. Поверхностное литохимическое опробование коренных пород выполняется как на естественных обнажениях, так и в неглубоких выработках - канавах, шурфах, расчистках. Отбор проб производится обычно методом пунктирной борозды путем точечной отбойки 5-6 мелких кусочков (сколков) размером 3 - 4 см² примерно через одинаковые расстояния (0,5-2 м) друг от друга. Кусочки объединяются в одну пробу массой 150 - 200 г. Каждая проба

должна характеризовать отдельную разновидность пород. Особое внимание уделяется опробованию картируемых разрывных нарушений, зон смятия, даек, полям развития метасоматитов и т.д.

Глубинное литохимическое опробование коренных пород выполняется по керну буровых скважин и в подземных горных выработках с целью выявления геохимических полей и аномалий, фиксируемых в толще коренных пород. Методика литохимического опробования керна скважин аналогична вышеописанной. Опробование подземных горных выработок рекомендуется производить пунктирной бороздой, ориентированной вкrest простирания рудных зон. Интервал опробования определяется конкретными геологическими условиями. Объединенная проба, состоящая из 5-6 кусков размером 3 - 4 см², составляет по массе 150 - 200 г.

Обработка литохимических проб коренных пород заключается в их дроблении до 1 мм, а затем в истирании сокращенной части до 0,1 - 0,07 мм.

Анализ отобранных геохимических проб производится частично в полевых, но, главным образом, в стационарных условиях. Виды анализов разнообразны. Но ведущим здесь является спектральный эмиссионный приближенно-количественный анализ геохимических проб. При мелко - среднemasштабных исследованиях рекомендуется проводить анализ на 30 - 40 элементов. При более детальных работах, когда общая геохимическая обстановка уже оценена, число определяемых элементов может быть сокращено до 10 - 15. Помимо спектрального, возможно, в случае необходимости, применение и иных видов анализа пламеннофотометрического, атомно-абсорбционного хроматографического, радиометрического, ядернофизических методов и т.д.

Первичные геохимические ореолы, нередко совпадающие с зонами околорудных измененных пород, обычно значительно превышают размеры рудных тел. Особенно велика протяженность надрудных ореолов по вертикали, что и определяет их важное практическое значение при поисках слепого оруденения. Вертикальная протяженность надрудных ореолов может состав-

лять сотни метров.

Форма первичных ореолов зависит от геолого-структурных факторов. Для эндогенных месторождений она главным образом определяется формой и направлением зон трещиноватости, повышенной пористости пород. Поэтому в большинстве случаев первичные ореолы развиваются согласно с рудными телами, причем эта особенность характерна как для крутопадающих рудных тел, так и пологозалегающих.

Важнейшей особенностью строения первичных ореолов является их зональность, которая выражается в закономерном изменении в пространстве различных характеристик и параметров. Зональность ореолов, понятие векторности, ее параметры по разным направлениям не совпадают. По отношению к рудному телу могут быть выделены три основных типа зональности. Осевая зональность проявляется в направлении движения рудоносных растворов. В случае крутопадающих рудоносных зон она совпадает с вертикальной, а для большинства субгоризонтальных - с горизонтальной. Продольная зональность отражает особенности строения ореолов по простиранию, а поперечная - вкrest простирания ореолов и согласных с ними рудных тел.

При решении одной из наиболее важных задач поисковых работ - обнаружения слепого оруденения - особо важное значение приобретает исследование осевой зональности, обычно совпадающей с вертикальной. Именно выявление вертикальной зональности имеет определяющее значение при оценке уровня эрозионного среза оруденения. При этом используются накопленные данные по рядам зональности, где определено положение элементов от подрудных горизонтов месторождения к надрудным.

Поиски по вторичным ореолам рассеяния преследуют цель - выявление аномально повышенных содержаний, характерных для месторождений элементов в рыхлых отложениях (как современных, так и древних), почвах, образовавшихся в результате гипергенного разрушения этого объекта или

его первичных ореолов. Минеральные компоненты разрушаемых рудных тел могут формировать механические ореолы рассеяния (в виде устойчивых в зоне гипергенеза первичных и вторичных минералов), а также солевые (в форме растворенных или связанных с породами воднорастворимых соединений). Ореолы, образующиеся в элювиально - делювиальных отложениях и химических корках выветривания на месте ранее существовавших рудных тел или их первичных ореолов получили название **остаточных**. Если же в контуре ореола на начало процесса разрушения не было первичных концентраций элементов, то такие ореолы называют наложенными. По отношению к дневной поверхности среди вторичных ореолов выделяются открытые - выходящие на дневную поверхность, слепые - в процессе своего развития не вышедшие на дневную поверхность и погребенные - перекрытые аллохтонным материалом. Слепые и погребенные ореолы нередко объединяют, называя закрытыми. В зависимости от особенностей образования в свою очередь ореолы подразделяют на диффузионные и аккумулятивные.

Механизм формирования различных типов вторичных ореолов, а также влияющие на их образование факторы подробно описаны в литературе. Они могут иметь различные особенности, определяемые ландшафтно-геохимическими особенностями. При этом существенное влияние на их образование могут оказать: характер почвообразующих процессов, глубина залегания фунтовых вод, наличие мерзлоты (в том числе явлений солифлюкции), тип подстилающих пород, минеральный состав полезного ископаемого и т.д. Формирование вторичных ореолов во многом также обусловлено физико-химическими особенностями природных вод, определяющими среду миграции рудных элементов, в зависимости от состава вод выделяют три типа окислительно-восстановительных условий формирования вторичных ореолов: окислительные, восстановительные глеевые и восстановительные сероводородные. Они широко распространены в природе, часто сменяют друг друга, формируя окислительно - восстановительную зональность.

К категории вторичных ореолов принято также относить **литохимические потоки рассеяния**. Они характеризуют аномалии, локализованные вдоль узких современных или древних водотоков. Поэтому сам метод получил название литохимических поисков по потокам рассеяния (метод донных осадков). По фазовому состоянию мигрирующего вещества потоки подразделяются на механические и солевые, а по доступности обнаружения - на открытые и закрытые. Наиболее важное поисковое значение имеют открытые потоки рассеяния, формирующиеся в отложениях современной гидросети на участках с достаточно пересеченным рельефом.

Методика отбора проб при проведении поисков по вторичным ореолам обычно определяется на основе ранее выполненных опытных работ. Она должна отвечать наиболее эффективному и экономичному проведению работ. При поисках по потокам рассеяния в пробу берут илисто-глинистую или песчаную фракцию. Отбор проб обычно начинают с устьев рек с последующим заходом во все боковые притоки. При этом доходят до их вершин.

При литохимических поисках по открытым ореолам отбор проб ведется с глубины, определенной опытными работами (обычно 20 - 30 и более см. под растительным слоем). В пробу берется песчано-глинистая фракция. Масса проб может колебаться от 50 до 100 - 300 г. Пробы отбирают в специальные мешочки. После сушки и ситования проб на базе партии обычно их сокращают до 100 г (до 300 г в районах развития золоторудных месторождений). Затем часть пробы измельчается (0,1 - 0,07 мм) и сокращается до 25 г для последующего отбора навески на анализ.

Глубинное литохимическое опробование рыхлых отложений проводится на значительной глубине от поверхности, обычно в нижней части рыхлых отложений (где фиксируются аномалии, связанные с коренными породами). При этом применяется специальное бурение или используются скважины геологического картирования.

Интерпретация собранных геохимических данных достаточно многооб-

разна.

Результаты литохимических поисков по коренным породам обычно отражают в виде графиков и карт изоконцентраций. На графиках показывают распределение в разрезе одного или нескольких химических элементов. При этом за единицу принимают значение местного геохимического фона. В случае площадного опробования распределение элементов в плане и на разрезах обычно представлено в виде изоконцентрат, а также полиэлементных аномалий (участков пространственно сближенных аномалий элементов, совместное нахождение которых вызвано одними и теми же причинами). На основе обработки собранных данных производится расчет осевой и продольной зональности рудных тел и первичных ореолов. С учетом выявленных показателей появляется возможность оценить уровень эрозионного среза, определить на этой основе перспективность аномалий.

Результаты литохимических поисков по вторичным ореолам группируются в выборки с учетом одинаковых ландшафтно-геохимических и геологических условий. Рассчитываются фоновые и аномальные значения содержаний. Составляются карты для отдельных элементов (моноэлементные), а также сводные. На них находят отражение (определенным цветом) выявленные ореолы и потоки рассеяния. Возможно также отображение результатов как в виде графиков, так и линий изоконцентрат на плане. Их составление является обязательным при поисках в м. 1:25000 и крупнее. В центрах выявленных аномалий указываются максимальные значения элементов.

При оценке аномалий должны быть рассмотрены следующие вопросы: характер и мощность рыхлых отложений, состав и обнаженность коренных пород, обоснование рудной или ложной природы аномалий; целесообразность последующих детализационных работ. Количественными показателями выявленных вторичных ореолов и потоков рассеяния являются - максимальное содержание металла в контуре аномалии, а также их продуктивность. Последняя, в случае потоков рассеяния определяется как произведе-

ние разности значений в пробе и рассчитанного фонового значения на площадь видимого водосбора.

После изучения участка вторичной аномалии геологическими и геофизическими методами необходима их заверка горными или буровыми работами с последующей геолого - промышленной оценкой.

Гидрохимический метод заключается в изучении распределения химических элементов в подземных и поверхностных водах путем их систематического опробования. Метод рекомендуется использовать в районах с большим количеством водоисточников и районах с избыточным увлажнением. Наиболее эффективно его использование для поисков месторождений, руды которых легко окисляются с образованием легкорастворимых соединений. Опыт проведенных исследований позволяет рекомендовать гидрохимический метод в следующих обстановках:

- рудные объекты перекрыты чехлом рыхлых дальнепринесенных отложений мощностью более 10 м;
- рудные тела в труднодоступных высокогорных условиях;
- рудные тела погребены под ледниковыми отложениями или находятся на глубине в пределах рудоконтролирующих разломов и т.д.

Гидрохимический метод обладает большей глубиной по сравнению с литохимическим, т.к. грунтовые воды могут выносить компоненты месторождений расположенных на большой глубине.

Метод включает следующие операции:

- отбор проб воды,
- предварительный анализ проб на месте их отбора (определение сульфат – иона, хлор – иона, рН, суммы металлов);
- геологическую и гидрогеологическую документацию;
- химический и спектральный анализы воды в лабораториях;
- камеральную обработку материалов и интерпретацию результатов.

При геологической съемке в м. 1:200000 (1:100000) пробы воды отбира-

ются в основном из водотоков расположенных по долинам рек. Обязательно берутся пробы из водоисточников на участках пересечения долинами зон разломов и смятия массивов интрузивных пород полей развития метасоматитов. В первую очередь исследованию подлежат источники, вскрывающие подземные воды коренных пород. Объем проб зависит от величины сухого остатка и колеблется от 0,1 до 1 л.

При съемке м. 1:50000 – 1:25000 пробы воды отбираются из водоисточников расположенных по всей сети крупных и мелких рек, а также их водоисточников на водоразделах. Важно взять пробы на участках геофизических аномалий и в тех местах, где установлены предпосылки обнаружения полезных ископаемых. При отсутствии водоисточников пробы отбираются из специально проходимых выработок. Принимаются меры для сохранения первоначального солевого и газового состава воды. Кроме того, при отборе проб измеряют температуру воды и воздуха. Анализ проб проводят в поле на базе партии и в стационарных условиях. На каждом опробуемом водопункте производят определение гидрохимических показателей. Концентраты проб анализируют приближенно-количественным спектральным анализом.

При обобщении и интерпретации результатов гидрохимических поисков на геологическую карту наносят все обследованные источники. У мест отбора проб условными знаками указывают содержание микроэлементов, а затем выделяют участки с повышенными содержаниями компонентов. Также составляются гидрохимические профили, позволяющие устанавливать повышенные содержания компонентов минерализации. Одновременно готовятся таблицы средних содержаний компонентов для вод, приуроченных к различным геологическим комплексам.

Имеется положительный опыт поисков гидрохимическим методом сульфидных, галоидных месторождений. Он также может быть использован при поисках карбонатных, силикатных полезных ископаемых, а также руд кобальта никеля бериллия, марганца, фосфора и др.

Биогеохимические методы основаны на использовании в качестве поисковых признаков аномалий, выявленных в результате опробования биологических объектов биосферы. В настоящее время их принято подразделять на собственно биогеохимические (фитогеохимические) и геоботанические.

Собственно, биогеохимический метод основан на изучении геохимических полей в растительном покрове и выделении на их фоне аномалий, связанных с полезными ископаемыми. Сущность метода заключается в отборе проб растительности - травянистой или древесной, озолении проб путем сжигания, анализе золы эмиссионным спектральным или иным способом. Для получения навески золы в 0,2 - 0,5 г проба ветвей дерева должна быть не менее 50 - 100 г, проба коры, листьев, побегов и травянистых растений - около 50 г. Пробы отбираются с помощью ножей, ножниц. Для сжигания проб в полевых условиях применяются специальные сосуды.

Биогеохимические методы целесообразно применять только в тех ландшафтно-геохимических условиях, где этот метод имеет преимущества в сравнении с литохимическими поисками. К ним относятся гумидные зоны, где на поверхности (в древних корах выветривания) широкое развитие получили процессы выщелачивания, гумидные зоны, если вторичные литохимические ореолы или рудные зоны перекрыты дальнепринесенными отложениями (мощностью до 20 - 40 м), заболоченные равнины и торфяники при неглубоком (2 - 10 м) залегании рудовмещающих коренных пород и т.д. В то же время метод еще широко не распространен и до сих пор рассматривается как экспериментальный, т.к. имеет целый ряд недостатков. Среди них сложность отбора и обработки проб, потеря некоторых элементов при сжигании проб, зависимость результатов анализа от вида растительности и времени года.

Геоботанический метод предусматривает специальное картирование территорий по растениям-индикаторам, концентрирующим определенные химические элементы, а также по ареалам развития растительных ассоциаций, произрастающих на площадях распространения различных типов пород. В

настоящее время известно много растений, которым приписывают значение индикаторов руд. Надежных индикаторов насчитывается более 60 видов. Реакция растений на отдельные химические элементы проявляется по-разному. В том числе, возможно полное исчезновение отдельных видов растений, появление своеобразных морфологических изменений (размеров, формы органов и т.д.), разнообразие морфо-физиологических особенностей. Так, на Рудном Алтае практически на всех выходах меденосных пород произрастает кустарниковое растение качим Патрэна. В то же время — это растение, являясь индикатором повышенной меденосности, не обнаруживает тенденции накапливать его в себе. В Бразилии крупнейшие месторождения железных руд были обнаружены (1952 г) по угнетенности древесной растительности. По желтизне листьев у деревьев в США (1960 г) были открыты железистые известняки, а по характерным признакам хлороза хлебов - цинконосные доломиты. В области влажных труднопроходимых джунглей отмечены специфические ассоциации деревьев на площадях развития медно-порфировых руд и т. д.

Особенности растительного покрова фиксируются на спектрональных космо - и аэроснимках, поэтому намечаются перспективы развития геоботанических методов как геохимического обоснования и контроля интерпретации материалов дистанционных спектрональных съемок.

Атмохимические методы заключаются в изучении распределения газов в атмосфере, почве и в подпочвенных рыхлых отложениях с целью выявления газовых ореолов скрытых на глубине месторождений, а также прослеживания разломов (часть которых может иметь рудоконтролирующее значение).

Атмохимические методы по поисковому значению рекомендовано подразделять на косвенные и прямые. К косвенным методам (ориентирующимся на выявление косвенных поисковых признаков) относится газовая съемка. При этом фиксируются поля и аномалии газовых компонентов, имеющие

поисковое значение (углекислый газ, водород, метан, азот, сероводород, сернистый газ, гелий, аргон, радон). Аномалии этих газов, обычно контролируя тектонически проницаемые зоны могут быть связаны с месторождениями различных полезных ископаемых.

Прямые атмосферические методы выявляют аномалии паров некоторых элементов. В настоящее время задействуют с этой целью главным образом пары: ртути - газортутная съемка. Она может использоваться как для поисков собственно ртутных месторождений, так и полезных ископаемых, в которых ртуть является спутником основных полезных компонентов. Газортутная съемка осуществляется с помощью пешеходного или автомобильного атомно-абсорбционного газоанализатора. Одним из подобных приборов является ИМГРЭ – 4.

Накопленный к настоящему времени опыт позволяет говорить о достаточно высокой эффективности атмосферических методов. В первую очередь сказанное относится к месторождениям полиметаллов, колчеданных, медно-никелевых и радиоактивных руд, ртути, а также ископаемых углей, нефти, газа.

Горно-буровые методы

Горные и буровые методы применяются практически на всех этапах выполнения поисковых работ и как вспомогательные, и как самостоятельные методы поисков. В первом случае - это расчистки, закопушки, а также неглубокие шурфы. Они используются для вскрытия рудных тел, их прослеживания оконтуривания для отбора различных типов проб (геохимических, шлиховых, химических, пробирных, технологических и т. д.), необходимых для оценки перспектив изучаемой территории. Эти же задачи решают и буровые скважины, проходимые как вручную, так и механизированным способом (колонковое мотобурение). Однако в первую очередь скважины используются для заверки выявленных аномалий.

Ведущими горно-буровые методы становятся тогда, когда физические и минералого-геохимические свойства вмещающих пород и руд различаются крайне незначительно. Поэтому геофизические и геохимические методы здесь не дают надежных результатов. Примером могут являться поиски слюдоносных пегматитов, залегающих в кварц-полевошпатовых породах и перекрытых рыхлыми отложениями. Поиски слепого оруденения приходится осуществлять путем бурения скважин. При этом расстояние между поисковыми линиями определяется возможной протяженностью потенциальных залежей по простиранию, а шаг между скважинами по линиям выбирается с таким расчетом, чтобы не пропустить прогнозируемые объекты. Бурение скважин, как самостоятельного поискового средства осуществляется и для вскрытия рудных тел в закрытых районах платформ (например, осадочных месторождений железа, марганца, бокситов и т.д.) путем систематического разбуривания перспективных площадей.

Дистанционные методы поисков

Дистанционные методы - неотъемлемая часть прогнозно-поисковых исследований. С их помощью изучают физическое поле Земли на расстоянии с целью получения информации о строении земной коры. Дистанционные исследования включают в себя аэро - и космические методы. Физической основой их является изучение или отражение электромагнитных волн природными объектами [4]. Наблюдения проводятся с самолетов, космических кораблей и спутников. Используют дистанционные методы видимый и ближний инфракрасный диапазон электромагнитного спектра, а также невидимую человеческим глазом его область. Особую группу представляют методы, основанные на изучении геофизических параметров Земли. Итак, к дистанционным методам относятся:

1 Методы изучения земной поверхности в видимой и ближней инфракрасной области электромагнитного спектра: а) визуальные наблюдения, б)

фотосъемка, в) телевизионная съемка.

2 Методы дистанционного изучения земной поверхности, регистрирующие невидимую область электромагнитного спектра излучения Земли: а) инфракрасная съемка, б) радиолокационная съемка, в) спектрометрическая съемка, г) иные виды специальной съемки (лазерная, ультрафиолетовая, магнитная, радиационная и др.).

Вторая группа методов в последнее время приобретает все большее значение, поскольку позволяет получать информацию о спектрах излучения различных природных объектов, распределении теплового поля и иных физических характеристиках земной поверхности. Так, инфракрасная съемка дает возможность решать задачи структурной геологии, выделять различные комплексы горных пород, картировать районы активной современной вулканической и гидротермальной деятельности. Радарная съемка использует микроволновый диапазон электромагнитного спектра. При этом производится фиксация не только естественного излучения, свойственного тем или иным образованиям, но и искусственного радиосигнала. Геологическая интерпретация радарного изображения предусматривает анализ структурных очертаний геологических образований, а также фототона изображения, текстуры рисунка. Спектрометрическая съемка, включающая в себя отдельные виды в зависимости от использования спектрального интервала, также решает задачи опознания и расчленения геологических образований.

Применение аэрометодов, выполняемых с высот 20 - 30 км, вызвало в свое время большой качественный скачок в изучении геологии. Внедрение космогеологических методов, производящихся на высотах от первых сотен до 1000 км и более позволило поднять дистанционные исследования на более высокий уровень познания и расшифровки геологических образований и структур.

Каждый космический снимок дает возможность решать широкий круг задач. По сравнению с аэроснимками, их отличает высокая обзорность эф-

фekt интеграции и генерализации, благодаря чему отдельные мелкие детали геологического строения, изолированные друг от друга, воспринимаются как единое целое. Особенностью космодешифрирования является также и то, что оно позволяет «просвечивать» глубинные структуры, перекрытые рыхлыми отложениями. В то же время информация, содержащаяся на космоснимках, находится в прямой зависимости от особенностей геологического строения территории, расчлененности рельефа, климата, условий съемки, качества и типов фотографий, применяемой аппаратуры.

Методика геологического дешифрирования космоснимков базируется на тех же принципах, что задействованы при дешифрировании аэрофотоматериалов. Различают качественные и количественные методы дешифрирования. Количественное дешифрирование, выполняемое с помощью специальных фотограмметрических приборов, позволяет определять элементы залегания и мощности пачек горных пород, размеры геологических тел, амплитуды разрывных нарушений. Качественное дешифрирование базируется на расшифровке индикаторных признаков, подразделяемых на две группы - прямые и косвенные. **Прямые признаки** непосредственно отражающие геологические объекты, подразделяются на геометрические и фотограмметрические. Первые характеризуют форму, размеры и взаимное расположение геологических тел, вторые - цвет, фототон. **Косвенные признаки** отражают взаимосвязь геологических объектов с различными элементами ландшафта. К ним относятся рельеф, гидрографическая сеть, особенности почв и растительности, результаты хозяйственной деятельности человека.

В зависимости от масштаба фотоснимки подразделяются на обзорные (м. 1:10000000 - 1:5000000), региональные (м. 1:1000000 - 1:200000) и локальные, детальные (м. 1:100000 и крупнее). В первом случае снимки используют для структурного и металлогенического районирования (обоснование границ металлогенических поясов, провинций и т.д.). Материалы региональных дистанционных съемок задействуют при выделении металлогенических зон,

рудных районов и узлов. Данные детального и регионального аэродешифрирования позволяют отслеживать зоны разломов, смятия, картировать концентрические и иные типы структур, отдельные массивы и т.д. Многие из них могут иметь рудоконтролирующее значение.

Значительное внимание на современном этапе уделяется составлению космоструктурных карт. На них находят отражение контурная информация определенного геометрического узора, включающая сочетание прямолинейных, кольцевых, дугообразных и криволинейных элементов. Отстроенные при этом карты могут быть успешно задействованы при прогнозно-металлогенических построениях и поисках полезных ископаемых.

Линейные аномалии фотоизображения (линеаменты) соответствуют линейно организованным комплексам рельефа и ландшафта земной поверхности, которые вскрывают особенности геологической структуры. Совокупность линеаментов отражает результат проявления многочисленных актов тектонических деформаций. Кольцевые структуры являются результатом действия локальных сил, приложенных к геологическим телам в вертикальном направлении. Эти структуры могут быть разных размеров (от локальных до региональных). Как правило, геологическая природа их достаточно уверенно соответствует телам интрузивных пород или вулканотектонических структур. Ареолы сближенных относительно мелких кольцевых структур фиксируют положение магматических образований определенного возраста, геометрически описываются кольцевыми структурными формами больших размеров. На этой основе осуществляется реставрация разновозрастных кольцевых структур, обладающих внутренней геометрической упорядоченностью в размещении энергетических очагов. **Дуговые структуры** соответствуют отдешифрированным отрезкам окружности, составляющим меньше половины ее длины. При этом обоснованно исключается их соответствие фрагментам не полностью оконтуренных кольцевых структур. Они формируются также в результате воздействия локальных сил, приложенных к пло-

щади геологических тел, но направленных горизонтально (тангенциальные силы). В тыловых частях, смещающихся в горизонтальном направлении тел (блоков, массивов) в условиях растяжения образуются криволинейные структурные формы.

Итак, из сложного узора нагрузки составляемых космоструктурных карт необходимо выделять («вычленять») для последующего анализа их основные составляющие. Применяемая при этом формализация наблюдаемой информации, конечно не в полной мере учитывает всю сложность динамики тектонических процессов, но является оправданной.

Анализ космоснимков позволяет уверенно выделять зоны проявления новейших (неоген - четвертичных) тектонических движений и создаваемых ими форм рельефа, изучать пространственные соотношения новейших зон поднятий (и опусканий) с ранее сформированными структурами. Уместно при этом отметить что локальные зоны неотектонических поднятий обычно рассматриваются как области наиболее энергично протекаемых эрозийных процессов. Они могут играть как позитивную роль (формирование разветвленной сети ложковых россыпей золота платины и т.д.) так и негативную (размыв площадных кор выветривания и связанных с ними полезных ископаемых).

Изучение космоснимков показывает, что многие известные месторождения золота, серебра, меди, полиметаллов, алмазов и других полезных ископаемых приурочены к узлам пересечения систем линеаментов различного направления и к участкам где эти системы пересекают границы крупных концентрических структур. Эта закономерность отчетливо проявлена на Южном Урале, где наблюдаются несколько наложенных одна на другую сеток разломов. Одну из них составляют системы разрывов запад - северо - западного (отчасти - восток - северо - восточного) направления. Разрывы двух других систем, по-видимому, более молодых имеют простирания близкие к ортогональным. К узлам пересечения разновозрастных разломов в непосред-

ственной близости к мелким кольцевым структурам приурочены месторождения меди - Сибайское, Подольское, Юбилейное, Блявинское, Гайское, Приорское и др. Установлен достаточно постоянный шаг для системы широтно ориентированных рудоконтролирующих разломов, равный 90-100 км.

Все большее распространение в группе дистанционных приобретают аэрогеохимические методы, позволяющие выделять поля химических элементов с высокой радиоактивностью и повышенной летучестью. Среди них наиболее часто применяется **аэрогаммаспектрометрический метод**. Он основан на измерении не только суммарной естественной радиоактивности геологических объектов, но и отдельных составляющих поля. Сюда входят такие элементы, как уран, торий, а также калий, присутствующий в значительном количестве (до 6 - 8 %) в рудоносных метасоматитах (кварц - адуляр - серицитовых кварц - серицитовых и др.). Предложено подразделять радиогеохимические поля на группы, различающихся соотношением главных компонент. Первая (эндогенная) группа включает грейзеновые и карбонатитовые месторождения тантала, ниобия, бериллия, молибдена, редких земель и т.д. с $Th, U > 5$ и гидротермальные месторождения золота серебра меди свинца и цинка с $K, Th > 1$. Вторая (экзогенная) группа представлена месторождениями бокситов с $Th, K > 5$ и фосфоритов с $U, Th > 1$.

Контрольные вопросы:

- 1 Назовите независимые источники получения информации.
- 2 Как можно сгруппировать современные методы поисков твердых полезных ископаемых?
- 3 Какие поисковые задачи решаются при проведении геологической съемки среднего и крупного масштаба?
- 4 Приведите примеры открытия месторождений полезных ископа-

емых при выполнении геологосъемочных работ.

5 При поисках каких полезных ископаемых возможно применение обломочно - речного метода.

6 В чем состоит сущность валунно-ледникового метода ?

7 Что такое «шлих»? Какие основные операции выполняются при проведении шлиховых поисков.

8 Какие геологические задачи можно решать с использованием результатов шлихового опробования?

9 Охарактеризуйте цели, задачи и приемы минералогического опробования.

10 В чем сущность геохимического метода поисков. Назовите разновидности геохимических методов.

11 В чем отличие и взаимосвязь литохимических методов поисков по первичным и вторичным ореолам.

12 Охарактеризуйте особенности литохимических поисков по потокам рассеяния.

13 В каких условиях возможно применение гидрохимических методов поисков. Примеры.

14 В чем своеобразие биогеохимических методов поисков. Примеры.

15 Охарактеризуйте возможности использования при поисках атмо-геохимических методов.

16 В каких случаях используют горно-буровые методы поисков?

17 Назовите разновидности дистанционных методов поисков.

18 Определите перечень геологических задач, решаемых с использованием дистанционных методов.

8 Природные условия ведения поисковых работ

В понятие «природные условия» проведения поисков следует включать совокупность геологических, геофизических и палеогеоморфологических факторов, определяющих формы нахождения и возможности обнаружения полезных ископаемых. Предполагается все факторы по времени их проявления подразделять на дорудные, синрудные и пострудные. Дорудные и синрудные факторы оказывают определяющее влияние на состав, строение и закономерности размещения объектов исследования. Пострудные - вызывают трансформацию первичных концентраций, выражающуюся в окислении скоплений полезных ископаемых, их выщелачивании, регенерации, разрушении, переносе и захоронении. Все отмеченное важно понимать и учитывать при поисках полезных ископаемых. С этой целью составляют специальные ландшафтно-географические карты (в том или ином масштабе), отражающие особенности рельефа местности и глубину эрозионного среза, а также характер почв, растительного покрова, подземных и поверхностных вод, кор выветривания для различных биоклиматических обстановок.

На выбор поисковых методов определяющее влияние, в первую очередь, оказывает геолого - структурное положение района поисков.

Региональные геолого-структурные условия поисков. Предложено выделять три типа геологических структур, различающихся по условиям ведения поисковых работ (таблица 2). Отмеченные структуры определяют типовой комплекс полезных ископаемых и условия их нахождения в земной коре, преобладающую пространственную ориентировку рудоносных структур и контролируемых ими залежей полезных ископаемых, а также глубину эрозионного вскрытия геологических формаций.

Таблица 2 – Основные регионально-геологические структуры (по В.И. Красникову)

Типы	Подтипы	Распространенность (%) в странах СНГ	Примеры
1	2	3	4
I Поднятые и в разной степени эродированные древние щиты и складчатые области	I-A Глубокоэродированные щиты	8	Балтийский, Алданский щиты, Байкальская складчатая зона
	I-B Поднятые области PZ, MZ и KZ складчатости	30	Урал, Казахстан, Тянь-Шань, Забайкалье, Сихотелинь
II Открытые районы платформ с двухярусным строением	II-A Без позднейшего магматизма	16	Русская платформа, Туранская плита
	II-B С широким проявлением позднего магматизма	11	Сибирская платформа
III Закрытые районы с региональным развитием мощного рыхлого кайнозойского покрова	III-A Закрытые пониженные участки платформ и плит	30	Западно-Сибирская платформа
	III-B Закрытые районов складчатых сооружений	5	Район Кызылкумов и Каракумов

Как видно из таблицы 2, одним из ведущих компонентов, определяющих выбор методов поисковых работ, является рельеф. Именно рельеф местности влияет на процессы гравитационного перемещения продуктов разрушения, миграцию водных масс, от него зависит характер обнаженности пород.

По степени обнаженности и закрытости коренных пород выделяют следующие области [8]:

1 Открытые районы. Занимают около 7 % площади (в пределах стран СНГ). Обнаженность составляет более 50 %. Обнажены хребты, вершины гор их склоны. Районы включают в себя классы рельефа высокогорный (абс. отм. 7000 - 4000 м), среднегорный (4000 - 1000 м).

2 Частично открытые районы. На них приходится 36 % всей территории стран СНГ. Обнаженность средняя (более 20 %). Обнажены хребты вершины склоны речных долин и т. д. Рельеф - низкогорный (1000 - 200 м) с сильным и средним расчленением, предельно - равнинный в разной степени расчлененный (сюда попадают и пенеплены), плоскогорный и слоево-равнинный.

3 Замаскированные районы. Занимают 17 % всей площади. Обнаженность плохая (от 0 до 20 %) и приурочена к склонам речных долин. Отмеченное характерно для низкогорного волнистого рельефа, редко - и слаборасчлененного предельно-равнинного, а также слоево-равнинного.

4 Перекрытые районы составляют 40 % территории стран СНГ. Обнаженность коренных пород здесь отсутствует. Следует отметить, что выделение перечисленных типов регионально-геологических структур обеспечивает лишь принципиальную схему дифференцированного подхода к поисковой оценке крупных регионов. При проведении поисковых работ (в первую очередь, в крупном масштабе) необходимо учитывать и иные особенности (например, ландшафтные).

Районирование **по ландшафтным условиям ведения поисковых работ** основывается на комплексе признаков, характеризующих особенности ландшафта. Заключается в изучении взаимозависимости между отдельными компонентами географической среды (ландшафта) с учетом количественных и качественных показателей полевых исследований. Районирование начинается с установления природных закономерностей распределения фаций и мощностей рыхлых отложений, а также размещения в их объеме вторичных ореолов рассеяния в зависимости от геоморфологических и геологических особенностей местности.

Наименьшим участком, в котором сочетаются предельно-однородные части ландшафта, служит **элементарный ландшафт**. Это определенный элемент рельефа, сложенный одной породой, одним типом рыхлых отложе-

ний, перекрытый определенным растительно-почвенным покровом. Им предложено выделять три типа элементарных ландшафтов элювиальный, суперэлювиальный и субэлювиальный. Схема была позднее дополнена М.А. Глазковской (1961), предложившей еще выделять и трансэлювиальный тип ландшафта (рисунок 7).

Элювиальный ландшафт приурочен к возвышенным частям рельефа, куда попадают только атмосферные осадки, вынос вещества осуществляется путем жидкого и твердого стока с формированием элювия и остаточных кор выветривания. При наличии рудной минерализации здесь формируются остаточные (несмещенные) вторичные ореолы рассеяния.

Трансэлювиальный ландшафт приурочен к склонам, чаще - их верхним частям. Здесь происходит вынос и перенос продуктов выветривания, причем вынос преобладает над аккумуляцией. В пределах ландшафта развиты смещенные остаточные вторичные ореолы, а также потоки рассеяния. Суперэлювиальный ландшафт занимает нижние выположенные части склонов. Здесь происходит привнос за счет стока, развиваются смещенные остаточные и аккумулятивные вторичные ореолы. Субэлювиальный ландшафт развит в пределах местных водоемов, русел рек озерных бассейнов. В его пределах формируются гидрохимические ореолы и литохимические потоки рассеяния.

Естественная совокупность элементарных ландшафтов образует **геохимический ландшафт** (Перельман А.Н.) - парагенетическую ассоциацию сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов.

Элементарные ландшафты и их совокупности (геохимические ландшафты) проявляют себя в различных биоклиматических обстановках. Чем влажнее и теплее климат, тем больше образуется органического вещества, интенсивнее протекают процессы его размещения и миграции химических элементов. Особо следует подчеркнуть особенности аридных и гумидных биоклиматических обстановок в пределах, которых гипергенная миграция элемен-

тов принципиально различная.

Аридные области характеризуются сухим климатом с отчетливым преобладанием испарения над количеством выпадающих осадков. В отсутствии лесного покрова, слабого развития травянистой растительности, гидрокарбонатно-кальциевого состава почвенно-грунтовых вод происходит быстрое разложение и миграция органики. Элементы, мигрирующие в водной среде, обладают особой химической подвижностью. Все это приводит к образованию открытых несмещенных и слабосмещенных ореолов.

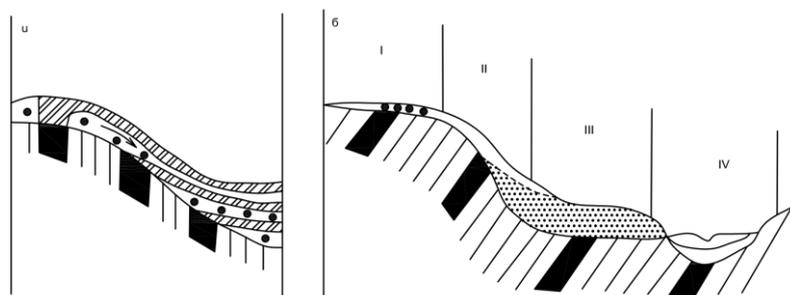
Гумидные области отличаются влажным климатом. Количество выпадающих осадков преобладает над их испарением. Характерно развитие богатой растительности (лесной, кустарниковой, травянистой), накопление органики, промывной режим, кислая реакция почвенно-грунтовых вод. Разные области с гумидным климатом различаются по такому параметру, как количество получаемого тепла. В тропических и субтропических областях с жарким климатом в условиях промывного режима вод происходит образование мощных кор выветривания практически полное выщелачивание большинства элементов, мигрирующих в водной обстановке. В умеренно теплых гумидных областях высокая миграционная способность элементов сохраняется. Это приводит к образованию ореолов большой протяженности, часто оторванных от коренных концентраций. В холодных гумидных областях уже доминируют процессы физического выветривания, а химическая миграция элементов - индикаторов оруденения слабая.

Возвращаясь к рассмотрению элементарных ландшафтов, следует подчеркнуть, что в зависимости от позиции тел полезных ископаемых (на водоразделах склонах) могут возникать ореолы как выходящие на дневную поверхность, так и находящиеся в погребении (рисунок 7). На участках развития элювиального ландшафта важное значение имеет литохимическое и шлиховое опробование по коренным породам и элювию. В пределах трансэлювиального ландшафта может применяться литохимическое и мине-

ралогическое опробование рыхлых склоновых отложений. В нижних частях склона, где отмечается супераквальный ландшафт, литохимические пробы следует отбирать в основании рыхлых отложений (т.е. задействовать глубинное литохимическое опробование). Здесь же возможно применение и гидрохимического метода по водным источникам. В условиях субаквального ландшафта осуществляется опробование аллювиальных потоков (литохимическое, шлиховое) глубинное опробование на участках широких долин (где предполагается наличие погребенного оруденения). Целенаправленному проведению поисков во многом способствует составление ландшафтных карт.

Карты ландшафтных условий поисков составляются в разных масштабах мелкомасштабные обзорные, региональные среднемасштабные карты (1:200000 - 1:50000), а также детальные ландшафтные карты (1:25000 - 1:10000).

Региональные среднемасштабные карты составляют для выделения районов преобладающих типов геохимических ландшафтов, а в их пределах - элементарных ландшафтов с оконтуриванием денудационных и эрозионно-аккумулятивных форм рельефа. Обобщаются данные о мощностях рыхлых отложений на количественной основе, анализируется влияние типа выветривания (химического, физического) на глубину расчленения рельефа, состав рыхлых отложений и связанных с ними ореолов рассеяния. При подготовке карт используют космические и аэрофотоматериалы, топоматериалы, почвенные и геоморфологические карты и т.д. Полевые наблюдения уточняют и дополняют выполненные построения.



а - зависимость глубины залегания ореолов от положения рудных тел на склоне (по В. В. Поликарпочкину); б - типы элементарных ландшафтов (по М.А. Глазковской): I- элювиальный, II - трансэлювиальный, III - суперэлювиальный, IV - субэлювиальный

Рисунок 7 – Схемы положения экзогенных геохимических ореолов в элементарных ландшафтах склонов:

Детальное ландшафтное картирование обычно охватывает площади нескольких геохимических ландшафтов. Основывается на изучении элементарных ландшафтов, особенностей состава, мощности рыхлых отложений, характера коренных пород. В комплекс подготавливаемых карт входят литолого-фациальная карта мезо-кайнозойских отложений, карта изомощностей (кор выветривания, покровных образований), схема районирования по ландшафтным условиям поисков, схема районирования по категориям трудности опознания и т.д.

На основе ландшафтного картирования возможно выделение при гене-

рализации элементов таксонометрических единиц, отвечающих различным уровням. Так, при мелкомасштабном и региональном изучении можно обосновать контуры ландшафтно-структурных блоков и зон. Чем больше генерализация ландшафтных единиц, тем отчетливее проявляются в их облике особенности глубинного строения земной коры. Морфоструктуры, соответствующие зонам, отвечают по размерам потенциальным рудным провинциям. Их развитие было предопределено особенностями развития крупных территорий, а контуры обычно ограничены глубинными разломами. В облике ландшафтно-структурных блоков (потенциальных рудных узлов и районов) проявляется своеобразие блоковой тектоники земной коры и магматизма в связи с развитием подкоровых и коровых разломов. Морфоструктуры простых и сложных местных ландшафтов (потенциальных рудных полей и месторождений) отражают особенности состава и строения верхних частей земной коры, магматизма.

9 Комплексирование методов поисковых работ

9.1 Общие вопросы

Комплексирование методов при оценке недр - один из наиболее кардинальных вопросов поискового и разведочного дела. Сущность рационального комплексирования поисковых работ сводится к повышению их эффективности. Основными параметрами при этом являются высокая достоверность результатов при минимальных затратах средств и времени.

Необходимость комплексирования различных методов обусловлена недоступностью объектов поисков для прямых наблюдений, многовариантностью толкования полученных результатов. Поэтому в поисковый комплекс целесообразно включать только те исследования, которые позволяют получать дополняющие друг друга сведения от объекта прогнозирования и поисков, собирать новую информацию об их составе и строении.

Рациональный комплекс должен базироваться на соответствии выбираемых методов поисковым признакам. Последние сигнализируют о возможности обнаружения определенных промышленных типов месторождений – «конечных объектов» поисковых работ. Наиболее надежным поисковым признакам обычно соответствуют ведущие методы; менее надежным - вспомогательные [1].

Долгое время незыблемым считался тезис - рациональный комплекс должен строиться на такой основе, когда достоинства одних методов перекрывают недостатки других. В конечном счете, это выражалось в том, что по отдельным перспективным площадям некоторыми авторами предлагались к реализации до 10 - 15 параллельных методов. Очевидно, что подобный подход (экстенсивный) является неприемлемым в условиях рыночных отношений. Рациональный комплекс должен включать в себя только те методы, которые в совокупности решают поисковую задачу с минимальными затратами и в кратчайшие сроки.

При обосновании геологически эффективных комплексов поисковых работ необходимо учитывать их цели и задачи, особенности геологического строения территорий, современные и палеоландшафтные обстановки, проявления в их пределах поисковых признаков, возможности выбираемых методов и т.д.

Рациональное комплексирование методов обязательно осуществляется с учетом этапности прогнозно - поисковой оценки, природных условий ведения поисков.

При проведении геологической съемки м. 1:200000 - 1:100000 комплексы сопровождаемых их поисковых работ должны обеспечивать выявление и оценку перспектив потенциальных бассейнов, рудных районов и узлов на все виды полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по кат. Р₃.

Крупномасштабная геологическая съемка (м. 1:50000 и крупнее) сопровождается комплексом поисковых методов, ориентированных на уже достаточно определившийся перечень полезных ископаемых (свойственный данному рудному узлу). Работы должны обеспечить оценку прогнозных ресурсов в пределах территории по кат. Р₂. При проведении геологической съемки в контурах ареалов повышенных концентраций элементов - индикаторов и спутников оруденения выполняются детализационные работы (обычно м. 1:10000). Результаты их используют для разработки предварительных эталонных моделей рудных полей, для целей оптимизации условий проведения поисков.

Поисковые работы (м. 1:10000 и крупнее) проводят в пределах локальных ареалов повышенных концентраций элементов - индикаторов на площадях, которые по совокупности поисковых критериев и признаков рассматриваются как потенциальные месторождения (или рудные поля). Выбранный комплекс должен не только обеспечивать уточнение особенностей геологического строения перспективных участков, но и осуществлять отбраковку неперспективных. В комплекс методов обычно входят структурно-

геофизические наблюдения, геохимические поиски (в том числе, в глубинном варианте), проходка горных выработок (канав, шурфов), бурение единичных скважин, отбор образцов и проб (химических, минералогопетрографических, спектральных и т.д.). По совокупности полученных данных, подсчитанных прогнозных ресурсов кат P_1 и P_2 готовятся рекомендации для постановки дальнейших оценочных работ (или обосновывается заключение об их нецелесообразности).

9.2 Систематика объектов поисков. Понятие о геологических полях

Конечные объекты поисков - потенциальные месторождения - могут занимать различную позицию в геологическом разрезе. В наиболее общем виде их можно подразделить на следующие группы (рисунок 8).

1 Тела, выходящие на поверхность, отчетливо отраженные в геологических, минералого - геохимических и геофизических поля.

2 Те же тела, но перекрытые маломощным чехлом элювиально-делювиальных покровных образований.

3 Те же тела, но перекрытые дальнеперенесенными (алохтонными) отложениями.

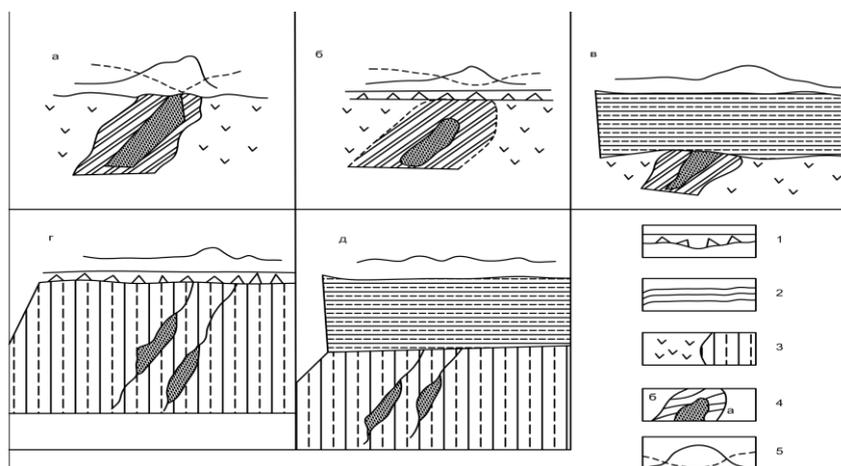
4 Слепые тела, не вскрытые эрозионным срезом.

5 Погребенные тела полезных ископаемых.

6 Погребенно - слепые тела полезных ископаемых.

Очевидно, что тела 1 и 2 групп можно отнести к категории «легкооткрываемых», чего нельзя сказать в отношении объектов 3-6 групп. Они относятся к категории «труднооткрываемых». Ведущее значение в их обнаружении приобретают косвенные поисковые признаки, а применяемые для оценки

методы должны обладать повышенной глубиной.



1 - элювиально-делювиальные образования, 2 - осадочные комплексы пород (аллювиальные, морские, ледниковые и др.) значительной мощности, 3 - коренные породы, 4 - объекты поисков: тела полезных ископаемых (а) и их первичные ореолы (б), 5 - аномалии, создаваемые объектами поисков. Типизация объектов «легкооткрываемые» (а и б - вскрытые эрозией), «трудно-открываемые» (в - погребенные, г - слепые, д - скрытопогребенные).

Рисунок 8 – Возможная геологическая позиция объектов поисковых работ [3]

Занимаясь вопросами прогнозирования и поисков «труднооткрываемых» объектов, необходимо оперировать понятием «геологическое поле». Термин «поле» применяется в геологии и горном деле как удобное описательно -

пространственное понятие, а в геофизике оно уже имеет физико-математический смысл. «Поле» предложено рассматривать как часть пространства, в пределах которого наблюдается распределение тех или иных параметров (как скалярных, так и векторных). **Геологическим полем** следует считать «пространство, каждому элементарному объему которого может быть поставлено в соответствие определенное значение какого-либо свойства».

При изучении месторождений приходится иметь дело с пространственно заданными совокупностями разнообразных характеристик свойств, форм, явлений и процессов. Они выявляются при изучении как самого тела полезного ископаемого, так и окружающего его пространства.

Принято различать поля морфометрических и морфоструктурных свойств, геохимические поля (содержаний химических элементов), геофизические поля (плотности, магнитной восприимчивости, электрического сопротивления, радиоактивности и т.д.), поля гидрогеологических и инженерно-геологических свойств. По природе своего формирования поля могут быть гомогенными и гетерогенными. Поле называется гомогенным, если характеризующее свойство имеет только одну форму своего проявления или нахождения. Если таких форм проявления или нахождения несколько, то поле следует считать гетерогенным.

9.3 Прогнозно - поисковые комплексы

Для повышения эффективности прогноза и поисков полезных ископаемых важное значение имеет: 1) совершенствование существующих методов, 2) разработка новых методов работ с увеличением их разрешающих возможностей. В рамках первого направления актуальным является рациональное использование уже имеющихся методов, выбор тех из них, которые смогли бы в определенном сочетании составить оптимальный прогнозно-поисковый

комплекс, обеспечивающий наиболее высокоэффективное и ускоренное решение сформулированных геологических задач на ранних стадиях геологоразведочного процесса.

Прогнозно - поисковый комплекс (ППК) - это предлагаемые к реализации высокоэффективные формы организации прогнозно-поисковых работ, отвечающие оптимальным технологическим схемам геологоразведочного процесса и определяющие на этой основе высокую достоверность и качество геологических исследований [8]. Эффективность ППК обеспечивается полнотой соблюдения принципа соответствия между стадией геологоразведочных работ и объектом прогноза между объектом и определяющими его признаками между признаками и методами их надежного выявления. На практике сказанное проявляется в том, что ППК должны способствовать последовательному все более детальному познанию геологических объектов - от потенциальных рудных районов, рудных полей, зон, рудоносных формаций до получения первых рудных подсечений на основе определения и постоянного уточнения поисковых критериев и признаков. Сказанное основывается на полноте соблюдения принципа последовательности приближений, соответствия между стадиями работ и объектами прогноза.

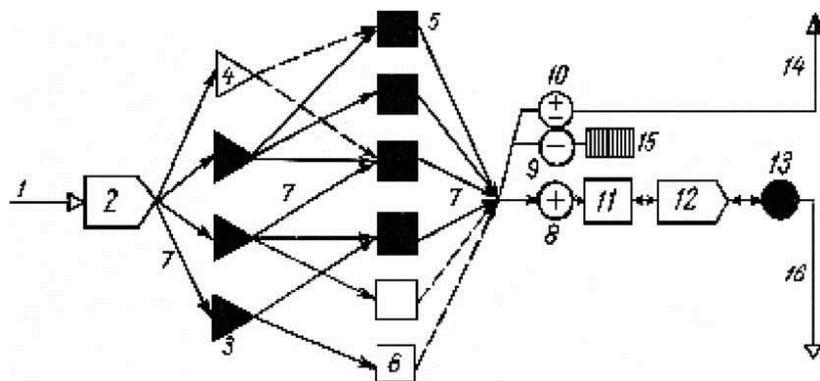
Любой разрабатываемый ППК должен базироваться на современных генетических представлениях и сведениях о строении месторождений полезных ископаемых, закономерностях их размещения, на знаниях в области специальной металлогении и теории рудогенеза, т.е. за основу должна быть взята разработанная авторами геолого - генетическая модель прогнозируемого объекта. Эта модель «раскрывает» себя в виде совокупности наблюдаемых проявлений геологических факторов рудогенеза и поисковых признаков. Они в процессе проведения работ уточняются, детализируются, заменяются новыми. При реализации ППК возможны различные варианты. Первый - положительный результат, отвечает опознанию объекта прогнозирования, что дает возможность перехода к следующей стадии. Второй - неопределен-

ный результат, может быть следствием неполноты знаний об объектах поисков и их признаков, что требует возврата к предшествующей стадии, пересмотра некоторых принципов и факторов. Третий - отрицательный результат (объект не обнаружен) может быть в силу отсутствия полезного ископаемого на площади, требуется пересмотр понятий о соотношении признаков и объектов поисков (рисунок 9).

В полном виде ППК представляет собой систему логически увязанных между собой элементов для каждой стадии геологоразведочных работ «факторы и признаки объекта - виды и методы работ – объекты». Эта система должна обеспечить достижение цели для определенной стадии. Вместе с тем общая схема реализации ППК может быть существенно упрощена за счет а) высоких разрешающих возможностей тех или иных методов, б) выявления высокоинформативных поисковых признаков, в) локализации поисковых работ в пределах участков, отвечающих особо благоприятным обстановкам. Разработка схем ППК, отвечающих сокращенным вариантам их реализации, представляет собой большой резерв повышения эффективности поисковых работ [7].

Разработаны ППК для конкретных промышленных типов целого ряда полезных ископаемых (золота, серебра, меди, полиметаллов).

Возможно использование ППК и при решении более частных геологических задач, например, при исследовании системы «коренной источник – россыпь».



1- переход от предыдущей стадии, 2 - объект изучения, 3 - 4 - ожидаемые признаки объекта поисков основные (3), дополнительные (4); 5 - 6 - методы поисковых работ основные (5), дополнительные (6), 7 - 8 - выявленные признаки объекта информативные (7), слабо информативные (8), 9 - 11 - результаты опознания объекта поисков неопределенные (9), положительные (10), отрицательные (11); 12-14 - выводы по полученным результатам прекращение работ (12), оценка прогнозных ресурсов и переход к следующей стадии (13), проведение дополнительных работ в рамках предыдущей стадии (14).

Рисунок 9 – Блок-схема прогнозно-поискового комплекса (ППК)

Успех поисковых работ во многом определяется выбором рационального комплекса методов. В большинстве случаев каким - либо одним методом нельзя обеспечить надежное выполнение поисков. В самом общем виде (без учета конкретных особенностей отдельных промышленных типов) рациональный комплекс методов для ведущих полезных ископаемых следующий (рисунок 10).

Полезное ископаемое (типы месторождений)	Методы поисков															
	Визуальный	Обломочно-речной	Валушно-ледниковый	Аэрогеологический	Шлиховой	Литохимический	Гидрохимический	Биохимический	Атмосферический	Физико-химический	Магнитометрический	Радиометрический	Электроразведочный	Гравиметрический	Сейсмографический	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	+				+	+					+		+	+		++

++ - главные методы; + - вспомогательные методы

Рисунок 10 – Рекомендуемые методы поисковых работ для различных полезных ископаемых

Рассматривая содержание таблицы, следует подчеркнуть, что перечень методов определяет лишь возможности использования их для отдельных типов полезных ископаемых. Задачей исследования является обоснование необходимого и достаточного (рационального) комплекса поисковых работ. В том числе, во многих случаях дополнительно должны быть предусмотрены дистанционные и горно-буровые методы (не отмеченные в таблице).

Перечень методов не учитывает минералого-геохимические особенности отдельных промышленных типов. Для ряда полезных ископаемых (например, золота, олова и др.) своеобразие объектов существенно влияет на выбор методов поисков.

9.4 Особенности детального и локального геологического прогнозирования

Детальное и локальное геологическое прогнозирование проводится в пределах рудных районов, узлов, рудных полей. Прогнозирование при этом является основой переоценки экономически освоенных и геологически достаточно хорошо изученных рудоносных площадей. Основными объектами прогнозирования являются глубокозалегающие и скрытые объекты.

Принципы методы детального и локального геологического прогнозирования по сравнению с крупномасштабными (м. 1:50000) и региональными среднемасштабными (м. 1:200000 – 1:100000) исследованиями имеют своеобразие и специфику.

Напомним, что конечными объектами при крупномасштабном (м. 1:50000 -25000) геологическом прогнозировании являются рудные узлы и потенциальные рудные поля, т.е. участки массового отложения рудного вещества.

Объектами детального (м. 1:25000 -1:1000) прогнозирования являются относительно небольшие участки, сопоставимые по размерам с площадями рудных полей, месторождений, продуктивных зон (рудных залежей), т.е. участков массового отложения рудного вещества. Объектами локального прогнозирования, проводимого уже на стадии разведки (включая доразведку), являются скрытые месторождения и рудоносные зоны, потенциальные промышленные залежи и их составные части.

Важным условием успешного выполнения работ по детальному и локальному прогнозу является разработка общей геолого-генетической концепции формирования месторождения (геолого-генетической модели) с отражением ее специфических особенностей, определяющих распределение оруденения в пределах рудоконтролирующих поверхностей.

Детальное геологическое прогнозирование преследует цель - дать количественную оценку промышленной рудоносности в пределах перспективных площадей и структур в ранге рудного узла, рудного поля месторожде-

ния, продуктивной зоны. При выполнении этих работ нужно учитывать следующее:

1 Объекты прогноза являются частями более крупных металлогенических единиц. Поэтому здесь применимы принципы историко-формационного подхода к изучению геологических образований, последовательных приближении на основе сравнения с эталонными объектами соответствующего ранга.

2 Прогнозируемые объекты (рудные поля, месторождения и т.д.) обычно представляют собой участки земной коры с интенсивно проявленным унаследованием металлогенических процессов. Потенциально рудоносные структуры не редко отличаются оптимальной степенью проявления, благоприятным сочетанием определенных факторов рудолокализации.

3 Даже в хорошо изученных геологических структурах прогноз должен быть направлен не только на традиционные, но и на новые (нетрадиционные) типы рудных объектов. При этом следует учитывать общую экономическую тенденцию - вовлечение в сферу промышленного освоения все более бедных руд.

4 Детальный прогноз в ряде случаев предусматривает разработку специальных методических подходов к выполнению поставленных задач.

5 Прогнозная оценка достаточно ограниченных по размеру площадей предусматривает использование (в отличие от среднемасштабного прогноза) детальных геологических материалов.

Так, например, при анализе литолого - стратиграфических критериев необходимо оперировать такими понятиями, как «толща» или отдельные «горизонты» пород в разрезе. При анализе магматического критерия уже рассматриваются «фазы» и «фациальные разности» магматитов. Оценка роли структурно - тектонического фактора включает в себя выявление связи оруденения с тектоническими элементами высоких порядков (складками, раз-

рывными нарушениями определенной ориентировки, конкретными вулканотектоническими постройками и т.д.).

В основе детального прогнозирования лежит геологическое картирование рудоносных площадей в соответствующем масштабе (1:25000 - 1:1000). Особенностью геологического картирования рудных полей является выявление тех геологических черт, которые характеризуют основные закономерности локализации того или иного оруденения. На составленных картах должны быть отражены главные факторы локализации полезных ископаемых. В число обязательных итоговых документов по геологической съемке входят и детальные карты прогноза. Эти документы представляют собой геолого-экономическое обоснование необходимости постановки последующих работ (поисковых, оценочных, разведочных). Работы планируются с учетом оценок ожидаемых прогнозных ресурсов полезных ископаемых. Все карты прогноза подразделяются на специализированные для конкретных полезных ископаемых и комплексные - на все полезные ископаемые. На картах находят отражение: 1) естественные границы рудных зон, узлов, полей, месторождений, обоснованные геолого - геофизическими и геохимическими данными; 2) месторождения полезных ископаемых с показом данных о разведанных запасах и прогнозных ресурсах; 3) перспективные рудопроявления и локализованные участки с оцененными прогнозными ресурсами по категории P_1 и P_2 ; 4) оценка степени перспективности площадей (высокоперспективные, перспективные, с неясными перспективами, бесперспективные), 5) рекомендуемые виды работ при дальнейших исследованиях.

Научной основой выделения перспективных площадей и объектов является установление взаимосвязи между типовыми геологическими обстановками и потенциальными рудоносными объектами. При выделении отмеченных площадей обычно применяют **комплекс методов и способов**.

1. Металлогенический анализ - выделение перспективных участков на основе анализа данных о рудолокализирующих факторах, разработке на этой

базе критериев прогноза.

2 Структурно - геометрический метод - основан на концепции закономерного расположения месторождений в виде правильного узора в узлах пересечения разломов, зон трещиноватости.

3 Геофизический метод - основан на решении обратной задачи - восстановления скрытых геологических обстановок проявления оруденения по результатам магнитометрической, гравиметрической, радиометрической и других съемок.

4 Геохимический метод - в его основу положено выявление закономерных связей оруденения с геохимическими полями. Для многих рудных полей характерна резкая дифференцированность распределения элементов и геохимическая зональность.

5 Дистанционные методы - позволяют получить важную дополнительную информацию по рудоконтролирующим структурам.

Следует подчеркнуть, что глубины прогнозирования определяются в каждом конкретном случае в зависимости от типа сырья, экономической освоенности района, технических возможностей рудного объекта и т.д. Так, в пределах сложившихся горнодобывающих предприятий оценка может достигать 1 -1,5 км (это зависит от экономических показателей), а в новых районах - 200-300 до 500 м.

Локальное геологическое прогнозирование выполняется на ограниченных по размеру рудоносных площадях. Целью работ является выделение продуктивного пространства, в пределах которого возможно обнаружение новых месторождений, а также отдельных рудных тел (преимущественно скрытых), или значительный прирост прогнозных ресурсов, обеспечивающий развитие геологоразведочных работ на фланги и глубину. Задачи исследований во многом близки к тем, что были сформулированы выше, но более локальные. В том числе: изучение геологических и иных (минералогопетрофизических, геохимических) особенностей рудоносных структур, вы-

явление типа и основных параметров рудомагматических систем; выбор (создание) типовой геолого - генетической модели объекта прогнозирования, синтез данных и прогноз промышленной рудоносности. Методологической основой локального прогноза является принцип закономерной связи рудных тел, гидротермально - измененных пород, магматитов и базирующийся на этой основе объемный анализ формы, состава, строения, зональности рудно-метасоматических систем. Выполненные исследования обычно заканчиваются оценкой прогнозных ресурсов по категории P_1 .

Как и при крупномасштабном - детальном геологическом прогнозе при локальном прогнозировании важное значение имеет **структурное картирование площади**. Обычно изучение структуры рудного поля и месторождений включает в себя 2 этапа:

- первый этап - составление структурно-геологической карты поверхности на основе естественных обнажений, расчисток, шурфов, картировочного бурения, однако при этом выявляются лишь общие особенности структуры рудного поля;

- второй этап - к изучению структуры дополнительно привлекаются данные подземного картирования горных выработок и глубоких скважин, при этом формируется представление об объемной структуре изучаемого объекта.

По сравнению с обычным геологическим картированием структурное картирование отличается:

- большей детализацией расчленения разреза рудовмещающих толщ;
- детальным описанием условий залегания, состава различных комплексов пород;
- детальным изучением структур, определяющих локализацию рудных тел.

Структурные исследования предлагается подразделять на две группы: 1) картировочные, когда создаются структурные и иные карты; 2) аналитиче-

ские, предусматривающие подготовку специализированных карт, схем, разрезов, блок – диаграмм. Картировочные исследования включают в себя методы: собственно, структурное картирование, морфогенетический анализ рудных полей, морфометрический анализ, морфоструктурный анализ, палеофациальный анализ осадочных комплексов, палеовулканический анализ и т.д. К группе аналитических исследований относятся анализ трещиноватости горных пород, микроструктурный анализ рудоносных структур, структурно - петрофизический, тектоно- физический и др. виды.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите, какие региональные и локальные геолого-структурные факторы влияют на выбор комплекса поисковых работ.
- 2 Какие природные условия определяют особенности ведения поисковых работ?
- 3 Что такое районирование территории по ландшафтным условиям при проведении поисков.
- 4 Каковы признаки особенностей элементарных ландшафтов?
- 5 В чем заключается сущность рационального комплексирования поисковых работ? Какие задачи при этом решаются?
- 6 Возможная систематика объектов поисковых работ по их положению в геологическом разрезе.
- 7 Приведите определение понятия «геологическое поле», дайте его характеристику.
- 8 Назовите компоненты геологического поля и возможные пространственные соотношения геологических полей.
- 9 Приведите примеры рационального комплексирования поисковых методов на основе исследования пространственных соотношений геологических полей.

10 Что такое прогнозно - поисковый комплекс? Какова его структура и последовательность составления?

11 В чем заключаются особенности детального геологического прогнозирования в пределах рудных районов и полей?

12 Определите перечень геологических задач, решаемых при локальном геологическом прогнозе в пределах ограниченных площадей.

10 Прогнозные карты - их содержание и назначение, количественное прогнозирование

Прогнозирование размещения полезных ископаемых осуществляется при составлении прогнозных карт. Прогнозные (прогнозно металлогенические) карты подготавливаются как на основе эмпирически установленных закономерностей размещения полезных ископаемых, так и с учетом представлений об условиях формирования месторождений (разработанных геолого-генетических моделей), а также с использованием результатов количественной обработки накопленной геологической информации.

Прогнозные карты пришли на смену регистрационным картам полезных ископаемых. Они составляются в различных масштабах: мелкомасштабные (м. 1:1000000 и мельче), региональные (м. 1:500000 – 1:100000), крупномасштабные для отдельных рудных районов (1:50000 - 1:25000), детальные карты рудных узлов и рудных полей (м. 1:25000 - 1:1000). Карты могут быть составлены с учетом разных принципов в зависимости от условий залегания месторождений (выходящих на поверхность, погребенных, слепых), генезиса (магматические, метаморфические, экзогенные - коры выветривания, осадочные и др.), геотектонического режима, тектонического положения (в складчатых областях на платформах) и т.д. Помимо этого, по своему назначению карты принято подразделять на две большие группы - карты прогноза общего типа и карты прогноза специализированные.

Несмотря на многообразие принципов и методов составления прогнозных карт, определяющим для них является достоверность данных о ведущих этапах истории геологического развития региона и связанных с ними конкретных типов месторождений полезных ископаемых.

Рассматривая содержание металлогенических карт масштаба 1:50000 - 1:25000, А. В. Орлова и Е. Т. Шаталов отмечают, что эти карты должны отражать в наглядном виде выявленные, а по возможности и подтвержденные

генетические связи оруденения с магматическими породами, геологическими структурами, толщами определенного состава и возраста, приуроченность к конкретным типам нарушений и т.д. [8]. Теоретическое обоснование прогнозов, отраженных на картах, дается в соответствии с поисковыми критериями, разработанными для данного района. Помимо собственно геологических данных, на карту выносятся известные месторождения и рудопроявления, поисковые признаки, отражаются различные рудоконтролирующие факторы. Изображаются месторождения преимущественно в истинных контурах (иногда с некоторым увеличением размеров), а если масштаб карты не позволяет, то условными обозначениями. Одним из итогов выполненных обобщений является выделение рудоносных зон, рудных узлов или рудных полей. Именно они берутся за основу при металлогеническом районировании территории. На картах прогноза обязательным элементом являются контуры прогнозных площадей, перспективных для постановки поисковых или других видов геологоразведочных работ. Задача выделения перспективных площадей или участков заключается в опознании зафиксированной на карте ситуации тех частей геологического пространства, в пределах которых возможно обнаружение скоплений полезных ископаемых определенных геолого-промышленных типов. При этом задействуют выявленный комплекс поисковых критериев (или факторов рудогенеза) и поисковых признаков (прямых или косвенных фактов проявления минерализации). Прогнозируемые участки отвечают «возможным геологическим обстановкам» нахождения тел полезных ископаемых, получивших свое отражение в каком-то признаковом поле свойств. Должна быть отражена степень перспективности выделенных площадей. В их числе возможны следующие группы:

Площади (участки) требующие постановки поисковых и оценочных работ. Здесь целесообразно выделять следующие категории 1) участки, прилегающие к промышленным месторождениям и перспективные в отношении прироста запасов (прогнозных ресурсов), 2) площади выхода рудовме-

щающих пород или благоприятных структур, сопровождаемых признаками оруденения, 3) площади выхода рудовмещающих структур или благоприятных структур без прямых признаков минерализации.

Площади недостаточно изученные. Здесь необходимо теоретическое обоснование возможности обнаружения промышленной рудоносности, что должно подтверждаться оценкой прогнозных ресурсов (категории P_2 и P_3).

Площади, не заслуживающие постановки поисковых работ. В этой категории можно выделить 1) площади уже обследованные, где получены достаточно определенные результаты (не подлежащие переоценке), 2) площади, неблагоприятные по имеющимся геологическим данным для промышленных концентраций полезных ископаемых.

Практика прогнозно-металлогенических исследований последних десятилетий для различных рудных районов в том или ином масштабе позволила обобщить огромный фактический материал, изложить теоретическое обоснование различных концепций геологического прогноза. Все это дало свои результаты, привело к выделению рудных районов и обнаружению многих месторождений полезных ископаемых. В то же время исследователи пришли к убеждению, что прогнозирование на сугубо «качественной» основе имеет свои допустимые пределы. Нужна количественная оценка выявленных рудоконтролирующих факторов, что позволяет поднять прогнозные построения на новый уровень, способствует устранению субъективизма при оценке площадей.

Понятие **количественное прогнозирование** в геологии имеет двоякий смысл. В первом случае - это количественная оценка прогнозных ресурсов, во - вторых - количественная оценка влияния различных геологических тел (рудоконтролирующих факторов) и их естественных сочетаний на размещение оруденения. Актуальность второго подхода при решении геолого - прогнозных задач для многих горнорудных районов несомненна в связи с высокой геологической изученностью территорий, исчерпанием ресурсов легко

открываемых месторождений.

Количественное прогнозирование предусматривает задействование приемов формализации геологической информации и их обработку с использованием компьютерных технологий. Поэтому принято этот вид работ также называть «автоматизированное прогнозирование», основывающееся на использовании автоматизированных информационно-поисковых систем (АИПС) [7].

В большинстве современных программ автоматизированного прогнозирования для получения конечного результата используется алгоритм распознавания образов. Подобного рода разработки выполнены в разные годы многими исследователями. При обработке данных использованы различные математические модели, включающие теорию игр и многомерных статистических методов, тренд - анализ (с использованием рядов Фурье и иных аппроксимирующих полиномов), факторный анализ и т.д.

Количественное прогнозирование предусматривает последовательное решение следующих задач:

- 1) изучение условий размещения минерализации;
- 2) составление объемной структурной модели исследуемого участка недр;
- 3) выявление рудоконтролирующих факторов (РФ) оценка их относительной значимости;
- 4) анализ проявлений РФ в объемной модели района оконтуривание перспективных площадей;
- 5) оценка прогнозных ресурсов;
- 6) оценка надежности прогноза.

Последовательное решение перечисленных задач и представляет собой суть методики количественного прогнозирования.

Объектами прогнозирования являются тела разных уровней и разного масштаба, начиная с рудных провинций, металлогенических зон, рудных

районов полей и заканчивая обоснованием геологической позиции потенциальных месторождений отдельных рудных тел.

Предметом изучения при количественном прогнозировании является признаковое множество, которое образуют в земной коре геологические тела, явления и процессы. Это множество неоднородно. Предложено его подразделять на 4 группы адресные признаки - положение объекта в геологическом пространстве (включая геотектоническую позицию, возраст), атрибутивные данные о размерах, внутреннем строении, содержании компонентов и т.д., факторные - отражают геологическую позицию объекта, форму и иные параметры, определяющие особенности месторождения (рудовмещающие и собственно рудоносные породы, контактовые зоны, разломы, складки и т.д.), критериальные - комбинации и различные характеристики факторных признаков (например, ориентировка разломов, их кинематический тип и др.).

Ведущая роль в прогнозировании принадлежит обоснованию факторных признаков или, как их принято называть, рудоконтролирующих факторов (РФ).

Рудоконтролирующие факторы представляют собой вещественное выражение причин и условий формирования полезного ископаемого. Факторы различаются по масштабу их проявления, контролируя позицию рудных районов, рудных полей, рудных тел. Наборы их существенно различаются для разных генетических типов месторождений. Различаются и по их относительной значимости в контроле оруденения.

Рудоконтролирующие факторы, выявляемые при полевых исследованиях и камеральном обобщении материалов предложено подразделять на три группы:

- 1 Рудообразующие (РО) - определяют сам процесс минерогенеза. Их выявляют при изучении конечных продуктов рудогенеза.

2 Рудораспределяющие (РРФ) - определяют геологическую позицию полезных ископаемых в зависимости от условий действия минералообразующих агентов

3 Рудолокализирующие (РЛФ) - определяют конкретные условия локализации оруденения. В их числе залегание, состав, свойства горных пород и контактовых поверхностей.

Определившись с оценкой роли РФ, можно переходить к решению следующей задачи - анализу их размещения в геологическом пространстве. Все РФ выносят на отдельную карту.

При этом их сочетание позволяет выделить геологически однородные блоки (ГОб) - участки земной коры, в пределах которых геологическая ситуация для определенного масштаба характеризуется постоянством. Для каждого такого блока рассчитывается суммарная оценка проявленных здесь факторов. На этой основе комплексные группы выделившихся ГОбов рассматриваются как перспективные. Их границами являются РФ различного масштаба.

По выделенным продуктивным площадям подсчитываются тем или иным способом прогнозные ресурсы. Оценка надежности количественного прогнозирования может быть выполнена несколькими методами. В их числе путем решения обратной задачи - когда по совокупности РФ определяют прогнозные ресурсы на площадях с известными объектами (где уже подсчитаны запасы), методом параллельного прогнозирования - когда по одной и той же территории осуществляется прогноз несколькими методами используя по аналогии данные статистического распределения как в блоках с известной минерализацией, так и по новым площадям, путем проверки рекомендаций разведочными работами.

Список использованных источников

1. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. [Электронный ресурс]: / В.В. Авдонин, Г.В. Ручкин, Н.Н. Шатагин, Т.И. Лыгина, М.Е. Мельников; Академический проект. - М.: Фонд «Мир», 2007. - 540с.

2. Аристов В.В., Локальный прогноз и методика поисков основных промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых. [Электронный ресурс]: / В.В. Аристов, А.Н. Роков. Учебное пособие. МГОУ. - М.: 1996. - 419 с.

3. Баранников А.Г. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. / А.Г. Баранников. Учебное пособие для вузов; - Екатеринбург: изд-во УрГГГА, 1999. - 142 с.

4. Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология [Электронный ресурс] : / О. Ф. Кузнецов [и др.]; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ. - 2020. -106 с.

5. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. / А.Б. Каждан. Научные основы поисков и разведки: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1984. – 285 с.

6. Классификация запасов и природных ресурсов твердых полезных ископаемых: Приказ Минприроды РФ № 278 от 11.12.06 г. - М.: Минприроды, 2006.

7. Компьютеризированная методика прогнозирования рудоносности (методические рекомендации) / Составители М.И. Пахомов, В.И. Сучков, В.И. Никулин и др. - М.: ВИМС, 2000. - 123 с.

8. Коробейников А.Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. / А.Ф. Коробейников, В.С. Кузубный; Учебник для ву-

зов. -Томск: Изд-во ТПУ, 1998. - 253 с.

9. Коробейников А.Ф. Моделирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых. / А.Ф. Коробейников; Учебное пособие для вузов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 200 с.

10. Лощинин В.П. Поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лощинин В.П., Пономарева Г.А. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2013. - 102 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30074.html>

11. Панкратьев, П. В. Геология полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего образования по специальности 21.05.02 Прикладная геология и по направлению подготовки 05.06.01 Науки о Земле / П. В. Панкратьев, И. В. Куделина; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. Бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 75865 Кб). - Оренбург : ОГУ, 2016. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 - ISBN 978-5-7410-1621-3.-Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/32821_20170111.pdf

12. Панкратьев, П.В. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения: учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования - программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 05.06.01 Науки о Земле [Электронный ресурс] : / П.В. Панкратьев, И.В. Куделина; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург: ОГУ. - 2020. - 236 с.