

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ
ГЕОЛОГО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО
КАРТИРОВАНИЯ
масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000**



9 785937 161148 2

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • 2009

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (МИНПРИРОДЫ РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ (РОСНЕДРА)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. А.П. КАРПИНСКОГО» (ФГУП «ВСЕГЕИ»)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ
ГЕОЛОГО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО
КАРТИРОВАНИЯ**

масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000



Санкт-Петербург • 2009

УДК 550.8:528:553.078

Методические рекомендации по организации и проведению геолого-минералогического картирования масштабов 1:500 000 и 1:200 000.
– СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 280 с. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ»).

В «Методических рекомендациях по организации и проведению геолого-минералогического картирования масштабов 1:500 000 и 1:200 000» изложены методические принципы ГМК, основные особенности его организации, применение иерархически построенных прогнозно-поисковых моделей при выборе технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований и минералогическом анализе, применение компьютерных технологий при прогнозно-минералогических исследованиях. Рассмотрены применительно к различным геологическим обстановкам типовые технологии картографирования рудоконтролирующих геологических образований, изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, выделения перспективных площадей, оценки прогнозных ресурсов. В разработанных «Методических рекомендациях ...» значительное внимание уделено вопросам прогнозирования рудных объектов, не выходящих на поверхность.

Табл. 21, ил. 41, список лит. 231 назв.

ISBN 978-5-93761-148-2

Рекомендовано к печати
НРС Роснедра при ВСЕГЕИ 9 декабря 2008 г.

С о с т а в и т е л и

*М.Л. Сахновский (отв. исп.), А.П. Бороздин,
Л.А. Виноградов, А.В. Довбня, О.Б. Ершов, В.И. Захаров,
В.Н. Зелепугин, В.Г. Колокольцев, В.С. Певзнер, Ю.Н. Сирота,
Е.К. Федорова, В.Э. Цубин, (ФГУП «ВСЕГЕИ»);
А.И. Ежов., А.К. Корсаков, Н.У. Карпузова, А.Н. Роков,
Ю.Н. Серокуров., А.К. Соколовский, Н.Н. Соловьев.,
В.Я. Федчук (ГОУ ВПО РГГРУ)*

ISBN 978-5-93761-148-2

**© Роснедра, 2009
© ФГУП ВСЕГЕИ, 2009
© Коллектив авторов, 2009**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение <i>М.Л. Сахновский</i>	5
Глава 1. Основные особенности методики и организации ГМК	8
1.1. Задачи, содержание и методические принципы ГМК. <i>М.Л. Сахновский</i>	8
1.2. Организация ГМК. <i>А.К. Корсаков, Н.У. Карпузова</i>	32
Глава 2. Типы рудоносных площадей (применительно к задачам ГМК)	43
2.1. Рудоносные площади областей фанерозойской складчатости <i>М.Л. Сахновский, В.Э. Цубин, А. П. Бороздин, О.Б. Еришов</i>	43
2.2. Рудоносные площади областей докемрийской складчатости. <i>А.И. Ежов, А.К. Соколовский, В.Я. Федчук, А.Н. Роков, Н.Н. Соловьев</i>	45
2.3. Рудоносные площади областей развития платформенного чехла. <i>В.С. Певзнер, В.Г. Колокольцев</i>	59
2.4. Площади развития рудоносных гипергенных образований. <i>В.С. Певзнер</i>	71
2.5. Геодинамические обстановки и их рудоносность. <i>А.В. Довбня</i>	80
Глава 3. Применение иерархически построенных прогнозно-поисковых моделей при выборе технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований и минерагеническом анализе при ГМК. <i>М.Л. Сахновский</i>	123
Глава 4. Применение компьютерных технологий при прогнозно-минерагенических исследованиях в процессе ГМК Общие положения. <i>М.Л. Сахновский</i>	132
4.1. Компьютерные технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и разработки прогнозно-поисковых моделей. <i>М.Л. Сахновский</i>	134
4.2. Компьютерные технологии выделения перспективных площадей. <i>А.И. Ежов, Ю.Н. Серокуров, А.К. Корсаков, Н.У. Карпузова</i>	150
4.3. Особенности применения компьютерных технологий при прогнозировании рудных объектов, не выходящих на поверхность <i>М.Л. Сахновский</i>	160
4.4. Примеры применения компьютерных технологий при прогнозировании рудных районов, узлов и полей различных рудноформационных типов. <i>А. И Бороздин, В. Н. Зелепугин, М. Л, Сахновский, Л. А. Виноградов, О. Б. Еришов</i>	165
Глава 5. Типовые технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований при ГМК	177
5.1. Технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований в областях фанерозойской складчатости. <i>М. Л. Сахновский, В. Н. Зелепугин, Е. К Федорова, Ю. Н. Сирота, В. И. Захаров</i>	177

5.2. Технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований в областях докембрийской складчатости. <i>А. И. Ежов, Ю. Н. Серокуров, В. Я. Федчук, А. Н. Роков, А. К. Корсаков, Н. Н. Соловьев</i>	185
5.3. Технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований платформенного чехла. <i>В. С. Певзнер</i>	190
5.4. Технологии изучения рудоконтролирующих гипергенных образований. <i>В. С. Певзнер</i>	195
Глава 6. Типовые технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей при ГМК	206
6.1. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях фанерозойской складчатости. <i>М. Л. Сахновский</i>	206
6.2. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях докембрийской складчатости. <i>А. И. Ежов, Ю. Н. Серокуров, В. Я. Федчук, А. Н. Роков, Н. Н. Соловьев, А. К. Корсаков</i>	216
6.3. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях развития платформенного чехла. <i>В. С. Певзнер</i>	223
6.4. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях развития рудоносных гипергенных образований. <i>В. С. Певзнер</i>	227
6.5. Технология прогнозирования полезных ископаемых на геодинамической основе. <i>А. В. Довбня</i>	241
Глава 7. Типовые технологии оценки прогнозных ресурсов категорий R_3 и R_2 . <i>М. Л. Сахновский</i>	247
Заключение . <i>М. Л. Сахновский</i>	263
Список литературы	265

ВВЕДЕНИЕ

Геолого-минерагеническое картирование масштабов 1:500 000 и 1:200 000 (ГМК-500 и ГМК-200) — вид региональных геологических работ, непосредственная цель которого — оперативное выявление, оконтуривание и оценка прогнозных ресурсов новых рудных районов, узлов, полей с предполагаемыми месторождениями твердых полезных ископаемых (включая не выходящие на поверхность, залегающие на глубине, доступной для их освоения,) определенной рудной формации, узкой группы рудных формаций или определенного промышленного типа, как профилирующих в регионе, так и принципиально новых для него [206].

ГМК-500 относится к мелкомасштабным, а ГМК-200 к среднemasштабным работам стадии регионального геологического изучения недр и прогнозирования полезных ископаемых [141].

Основным содержанием ГМК является:

— изучение минерагенических факторов и поисковых признаков, характерных для рудных объектов прогнозируемого типа, — выявление, оценка их рудоконтролирующей роли, прослеживание их на поверхности и на глубине по результатам геологических наблюдений, геофизических, геохимических, дистанционных методов;

— изучение (или уточнение) закономерностей размещения рудных объектов прогнозируемого типа;

— выявление перспективных рудных объектов (потенциальных рудных районов, узлов, рудных полей, полей россыпей), их оконтуривание и оценка прогнозных ресурсов.

Основные области применения ГМК — прогнозирование новых рудных районов, узлов, полей стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов минерального сырья, а также прогнозирование новых рудных полей и месторождений минерального сырья в действующих рудных районах с истощенной минерально-сырьевой базой.

Объектом ГМК являются площади любого геологического строения в пределах суши Российской Федерации, и любой

степени их изученности предшественниками, перспективные в отношении стратегических, высоколиквидных или остродефицитных видов минерального сырья, а также видов минерального сырья, экономически важных для региона, включающего площадь исследований. В случае отсутствия тех или иных необходимых для начала производства работ геологических, геофизических, геохимических материалов их подготовка осуществляется в процессе подготовительного периода камеральным способом, а при необходимости — с применением полевых работ [206].

Приведенные особенности геолого-минерагенического картирования определяют его роль как важнейшего вида региональных работ, непосредственно ориентированного на расширение минерально-сырьевой базы в отношении полезных ископаемых, наиболее важных для страны в целом и для отдельных регионов.

В настоящих методических рекомендациях в качестве главных методических проблем ГМК, от которых зависит достижение его высокой результативности при минимально возможных затратах средств, труда и времени, рассматриваются:

— комплексность и полнота изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, оптимальность применяемой технологии их картографирования (она должна обеспечивать надежное их прослеживание на поверхности, под покровом рыхлых отложений, и ниже уровня эрозионного среза рудовмещающего породного комплекса при минимально возможных затратах средств, труда и времени, с учетом конкретных особенностей объектов прогнозирования и условий изучаемой площади, степени ее изученности предшественниками);

— полнота и достоверность изучения закономерностей размещения полезных ископаемых прогнозируемого типа, обеспечивающая возможность формирования надежных многопараметрических критериев их прогнозирования, в том числе критериев прогнозирования рудных объектов, не выходящих на поверхность;

— полнота, глубинность и достоверность прогнозных построений при выделении перспективных площадей;

— обоснованность и достоверность оценки прогнозных ресурсов.

В свою очередь возможность эффективного решения всех этих задач зависит от следующих двух принципиальных вопросов методики ГМК:

— применения на всех этапах ГМК прогнозно-поисковых моделей объектов полезных ископаемых и от их качества — адекватности и полноты отображения в них типовых пространственных соотношений между оруденением и контролирующими его минерагеническими факторами, а также различных компонентов зональности (рудной, геохимической, гидротермально-метасоматической), связей между минерагеническими факторами, поисковыми признаками и параметрами геофизических и геохимических полей, а также от оптимальности использования моделей при выполнении всей последовательности главных технологических операций прогнозно-минерагенических исследований;

— комплексности качественной и количественной (с применением компьютерных технологий) интерпретации геологических, геофизических, геохимических и дистанционных материалов при картографировании минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования, выделении потенциально рудных объектов и оценке их прогнозных ресурсов (одним из наиболее действенных методов обеспечения комплексности интерпретации при решении этих задач является применение прогнозно-поисковых моделей).

В настоящих методических рекомендациях принят следующий порядок изложения: в первых четырех главах рассматриваются общие вопросы проведения ГМК

— методические принципы ГМК, вопросы его организации (глава 1);

— классификация и описание геологических обстановок проведения ГМК (глава 2);

— применение прогнозно-поисковых моделей при выборе технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований и минерагеническом анализе (глава 3);

— компьютерные технологии прогнозирования (глава 4).

В главах 5, 6 и 7 последовательно рассматриваются типовые технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований, изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей, оценки прогнозных ресурсов, применительно к различным геологическим обстановкам и типам объектов прогнозирования.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ ГМК

1.1. Задачи, содержание и методические принципы ГМК

Задачами ГМК являются оперативное выявление, оконтуривание и оценка прогнозных ресурсов новых или переоценка уже известных рудных (россыпных, рудно-россыпных, угольных, горючесланцевых)* районов, узлов, полей с предполагаемыми месторождениями полезных ископаемых, включая не выходящие на поверхность, залегающие на глубине, доступной для их освоения.

ГМК проводится на твердые полезные ископаемые (рудные, нерудные и каустобиолиты — уголь и горючие сланцы) и специализируется в направлении выявления и изучения ограниченного круга полезных ископаемых (одного или нескольких формационных или геолого-промышленных типов), как профилирующих в регионе, так и принципиально новых для него, перечень которых и глубина, до которой производится их прогнозирование, приводятся в геологическом задании.

Объектом ГМК являются площади любого геологического строения и любой степени их изученности предшественниками в пределах суши Российской Федерации, перспективные в отношении стратегических, высоколиквидных или остродефицитных видов минерального сырья (урана, хрома, марганца, титана, вольфрама, тантала, ниобия, циркония, золота, металлов платиновой группы, алмазов, плавикового шпата, кристаллического графита, высокоглиноземистого сырья, вы-

* Ниже по тексту Методических рекомендаций все перечисленные типы объектов полезных ископаемых для краткости называются рудными районами, узлами, полями, за исключением тех случаев, когда необходимо конкретизировать состав или тип развитого в их пределах полезного ископаемого.

сококачественного барита, борного сырья и др.)**, а также видов минерального сырья, экономически важных для региона, включающего площадь исследований, при условии, что контролирующие их продуктивные и потенциально продуктивные геологические тела и тектонические структуры располагаются на глубинах, доступных для их изучения современными средствами, а добыча полезных ископаемых является рентабельной.

Объектами прогноза ГМК-500 являются рудные районы и узлы. Их прогнозные ресурсы оцениваются по категории P_3 . Объекты прогноза ГМК-200 — рудные районы, узлы, рудные поля, прогнозные ресурсы оцениваются по категориям P_3 и P_2 . В благоприятных случаях объектами прогноза ГМК-200 могут быть месторождения.

Основными областями применения ГМК являются прогнозирование новых рудных районов, узлов, полей и месторождений стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов минерального сырья, а также прогнозирование новых рудных полей и месторождений минерального сырья в действующих рудных районах с истощенной минерально-сырьевой базой [206].

Особо следует подчеркнуть, что в настоящее время основные перспективы прироста сырьевой базы в континентальной части России связаны с необходимостью прогнозирования и поисков рудных объектов, не выходящих на поверхность — слепых (не затронутых эрозией), погребенных (выведенных процессами эрозии на поверхность рудовмещающего комплекса и позднее перекрытых более молодыми отложениями), погребенно-слепых (не выходящих на поверхность рудовмещающего комплекса, перекрытого более молодыми отложениями), а также месторождений новых видов минерального сырья, (как выходящих на поверхность, так и не выходящих).

В большинстве действующих рудных районов вероятность выявления новых слепых, погребенных и погребенно-слепых промышленных месторождений, значительно выше вероятности выявления месторождений, выходящих на поверхность. Не выходящие на поверхность рудные поля и месторождения, залегающие на незначительной глубине (десятки или первые сотни метров), являются первоочередным объектом прогнози-

**Долгосрочная государственная программа изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья. МПР РФ, 2005 г.

рования при ГМК-200 и последующих более детальных (прогнозно-поисковых, поисковых, поисково-оценочных) работ.

В более редких случаях в качестве первоочередных объектов прогнозирования при ГМК-200 могут рассматриваться потенциальные рудные поля и месторождения, залегающие на глубинах, превышающих первые сотни метров, но они, как правило, важны при оценке долгосрочных перспектив рудного района.

Не выходящие на поверхность рудные поля и месторождения как объекты прогнозирования при ГМК важны также и потому, что именно среди них с наибольшей вероятностью могут быть выявлены крупные и уникальные, способные коренным образом улучшить ситуацию в Российской Федерации в отношении ресурсов того или иного вида минерального сырья (примером может служить месторождение Талнах). С учетом степени опойскованности рудоносных и потенциально рудоносных площадей, в большинстве регионов России наличие еще не открытых подобных объектов, выходящих на поверхность, маловероятно. Кроме того, рядовые слепые и погребенно-слепые месторождения при прочих равных условиях должны обладать более значительными запасами, чем аналогичные месторождения, выходящие на поверхность, так как в отличие от последних не подвергались эрозии. В любом случае расширение числа вероятных перспективных объектов за счет не выходящих на поверхность, увеличивает не только результативность ГМК, но и его экономическую эффективность (соотношение стоимости работ и их результативности). Это обусловлено тем, что прогнозирование слепых, погребенных и погребено-слепых рудных объектов является не столько проблемой дополнительных затрат на проведение полевых, в основном геофизических и геохимических, исследований (их объем незначителен по сравнению с исследованиями, проводимыми этими методами для картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков), сколько проблемой комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых и выделении перспективных площадей [149, 152, 171, 174].

Прогнозирование погребенных рудных объектов, по рангу соответствующих масштабу ГМК, является вполне реальной задачей как при ГМК-500, так и при ГМК-200 [149, 152].

Прогнозирование слепых и погребено-слепых рудных объектов в основном является задачей ГМК-200, однако и при ГМК-500 при благоприятных условиях могут быть выделены потенциальные рудные районы или узлы или их части, в пределах которых по совокупности геологических, геофизических, геохимических и иных критериев возможно наличие слепых, или погребено-слепых рудных полей.

Решение перечисленных задач ГМК обеспечивается комплексом исследований — полевых (геологических, геоморфологических, геофизических, геохимических, шлихового опробования), лабораторных и камеральных (включающих комплексную обработку материалов предшественников и собственных, а также МДЗ). Работы проводятся в единой последовательности: подготовительные работы и проектирование, полевые работы, лабораторные и промежуточные камеральные работы, окончательные камеральные работы, включая составление окончательного отчета.

Основной объем полевых работ направлен на картографирование минерагенических факторов и поисковых признаков.

В состав полевых работ также входят: изучение эталонных объектов (типовых рудных районов и рудных узлов при ГМК-500, рудных полей и месторождений при ГМК-200) для уточнения ранее установленных и выявления новых минерагенических факторов и поисковых признаков, изучения рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, установления признаков, характерных для надрудной зоны рудных полей и месторождений прогнозируемого типа — гидротермалитов надрудной фации, геохимических аномалий, пунктов минерализации и проявлений рудных элементов-спутников основного оруденения, типичных для надрудной зоны гидротермально-рудной системы, геофизических аномалий, интерпретируемых как надрудные и др.; для выборочной проверки на местности правильности прогнозных построений и оценки потенциально рудоносных площадей; предварительной оценки проявлений прогнозируемого полезного ископаемого, обнаруженных в процессе ГМК, или выявленных предшественниками, но не оцененных.

Основной объем лабораторных исследований проводится:

— для изучения физических свойств горных пород, слагающих рудоконтролирующие геологические тела, различные фации гидротермалитов, рудные тела и вмещающие их породные

комплексы, с целью обеспечения процесса интерпретации геофизических материалов при картографировании минерагенических факторов и поисковых признаков, построения объемных геолого-геофизических моделей потенциальных или известных рудных объектов, оценки прогнозных ресурсов геофизическими методами;

— для изучения вещественного состава всех типов потенциально рудоконтролирующих геологических тел литолого-петрографическими, петрохимическими, минералогическими, минералого-геохимическими, геохимическими методами с целью определения (уточнения) формационной принадлежности, установления признаков их принадлежности к конкретным типам рудоконтролирующих геологических образований, развитым на площади работ, выявления их идентификационных признаков, установления геохимической специализации и других «вещественных» признаков их возможной рудоносности;

— для анализа результатов площадного геохимического, шлихо-геохимического, шлихового опробования, опробования проявлений полезных ископаемых.

— для анализа результатов различных видов опробования, проводимого на эталонных участках с целью изучения рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности.

В целом комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований, проводимых в процессе ГМК, направлен на последовательное выполнение главных технологических операций прогнозно-минерагенических исследований:

— изучение минерагенических факторов и поисковых признаков (выявление, оценка или уточнение их рудоконтролирующей роли, прослеживание их на поверхности и на глубине);

— изучение закономерностей размещения объектов полезных ископаемых, являющихся в соответствии с геологическим заданием объектами прогнозирования;

— формирование многопараметрических критериев их прогнозирования;

— выделение и оконтуривание перспективных объектов;

— оценку их прогнозных ресурсов;

— разработку рекомендаций по дальнейшему изучению перспективных площадей.

Ниже рассматриваются методические принципы выполнения приведенной технологической цепочки и каждой из

перечисленных операций, общие для всех геологических обстановок проведения ГМК и типов прогнозируемых рудных объектов. Методы реализации этих принципов применительно к различным геологическим обстановкам и типам объектов прогнозирования конкретизируются в главах 4, 5, 6 и 7.

Фундаментальной основой методики ГМК являются традиционные для прогнозно-минерагенических исследований принципы, главными из которых являются структурно-вещественный подход, базирующийся на формационном анализе, и принцип последовательных приближений, заключающийся в многоступенчатом минерагеническом анализе территорий с последовательной локализацией перспективных площадей от региональных к локальным и соответственно использованием критериев прогнозирования в определенной очередности — от региональных к все более детальным [79]. Эти принципы определяют роль и место ГМК в геологоразведочном процессе, соотношение задач ГМК-500 и ГМК-200, а также главные особенности методики ГМК, в частности, приведенную выше последовательность главных технологических операций при его проведении.

Развитием этих принципов являются методические разработки ВСЕГЕИ, ВИРГ-Рудгеофизика, ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ЦНИИГеолнеруд, ВНИИгеосистем, СНИИГГиМС и других организаций, направленные на повышение эффективности процесса прогнозно-минерагенических исследований, вовлечение в процесс прогнозирования объектов полезных ископаемых, не выходящих на поверхность, на основе использования достижений в области прикладной геофизики, геохимии, дистанционного зондирования, методов комплексной компьютерной интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ при изучении минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения полезных ископаемых, выделении перспективных площадей, оценке прогнозных ресурсов [10, 37, 46, 47, 60, 63, 68, 69, 73, 77, 78, 89, 93, 99, 107, 114, 118, 122, 148, 149, 150, 152, 154, 157, 174, 177, 180, 181, 182, 201, 219, 223 и другие работы].

Не менее значительное влияние на развитие методики прогнозно-минерагенических исследований оказывают достижения в традиционных областях теоретической и прикладной геологии — теории рудообразования [31, 39, 65, 66, 81, 92, 133 и другие работы], методах разработки серийных легенд [17, 40,

106, 110, 121, 125, 194, 202], методах разработки и применения прогнозно-поисковых моделей [32, 78, 93, 107, 118, 148, 149, 152, 154, 171, 174, 180, 219 и другие работы].

Ключевыми вопросами организации и методики ГМК, определяющими в каждом конкретном случае его результативность, экономическую эффективность (соотношение стоимости работ и их результативности) и оперативность, являются:

— достаточность и качество информационного и программного обеспечения;

— комплексность прогнозно-поисковых моделей объектов полезных ископаемых, адекватность и полнота отображения в них типовых пространственных соотношений между оруденением и контролируемыми его минерагеническими факторами, а также различных компонентов зональности, оптимальность их использования при выполнении всей последовательности главных технологических операций прогнозно-минерагенических исследований;

— комплексность интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ при картографировании минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования, выделении потенциально рудных объектов и оценке их прогнозных ресурсов;

— комплексность и полнота изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, оптимальность применяемой технологии их картографирования (она должна обеспечивать надежное их прослеживание на поверхности, под покровом рыхлых отложений, и ниже уровня эрозионного среза рудовмещающего породного комплекса при минимально возможных затратах средств, труда и времени, с учетом конкретных особенностей объектов прогнозирования и условий изучаемой площади, степени ее изученности предшественниками);

— полнота и достоверность изучения закономерностей размещения объектов полезных ископаемых прогнозируемого типа;

— полнота, глубинность и достоверность прогнозных построений при выделении перспективных площадей;

— обоснованность и достоверность оценки прогнозных ресурсов.

Эти вопросы тесно взаимосвязаны — неудовлетворительное решение части из них делает проблематичным удовлетвори-

тельное решение остальных. В совокупности качество их решения определяет технологический уровень, качество и практическую значимость ГМК.

Информационное обеспечение

Информационное обеспечение ГМК включает серийные легенды, электронные базы данных, иерархически построенные прогнозно-поисковые модели рудных систем, являющихся объектами прогнозирования [100, 154].

Серийные легенды к мелко и среднemasштабным геологическим и прогнозно-минерагеническим картам (СЛ-1000 и СЛ-200) (Шокальский С. П. и др. 2006, 2007) — новый тип геологического документа, представляющий собой вид комплексных геологических материалов. Помимо традиционного значения в качестве свода условных обозначений для карт геологического содержания, серийная легенда является также средством обобщения всего геологического материала и его представления в виде системы взаимоувязанных геолого-картографических объектов. Материалы качественно составленной системно-организованной серийной легенды позволяют проследить структурно-вещественную эволюцию крупных блоков земной коры и выявить закономерности (в том числе закономерности размещения полезных ископаемых), которые могут оказаться не выявленными или недостаточно подтвержденными на отдельных разобщенных площадях.

Содержащиеся в минерагеническом блоке серийной легенды схемы минергенического районирования территории и размещения полезных ископаемых по основным тектоно-металлогеническим эпохам увязаны с главными событийно-возрастными срезами, для которых составлены схемы районирования (Шокальский С. П. и др. 2006, 2007).

В силу этих особенностей СЛ-1000 и СЛ-200 могут служить информационной основой при решении главных задач ГМК-500 и ГМК-200, в особенности при определении совокупности минерагенических факторов, которые должны являться основными объектами картографирования, а также при изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования.

Применение серийных легенд в качестве информационной основы ГМК в определенной степени сдерживается тем, что

значительная их часть в настоящее время требует актуализации (в частности, в некоторых из них отсутствует минерагенический блок). Тем не менее, при проведении ГМК в процессе подготовительных камеральных работ, целесообразно проанализировать имеющиеся СЛ-1000 и СЛ-200 для серии листов, включающих изучаемую площадь, с тем, чтобы использовать всю содержащуюся в них полезную геологическую и минерагеническую информацию при изучении минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования, разработки прогнозно-поисковых моделей или их корректировки с целью адаптации к конкретным особенностям изучаемой площади.

Электронная база данных, аккумулирующая совокупность геологических, геофизических, геохимических, дистанционных материалов, результатов лабораторных исследований и других данных, необходимых для решения задач ГМК, составляется на начальном этапе по данным предшественников, включая имеющиеся электронные базы данных. Она используется и дополняется по мере получения новых данных в течение всего процесса ГМК. Иногда в целях большей оперативности поиска данных и их обработки целесообразно создавать специализированные базы данных (СБД), ориентированные на решение частных задач ГМК, например, для прогнозирования объектов полезных ископаемых, которые относятся к различным рудно-формационным типам и контролируются различными наборами минерагенических факторов. СБД создаются путем копирования из основной базы той части данных, которые необходимы для решения конкретной задачи (или группы близких задач). Содержащиеся в СБД данные хранятся в том формате, который наиболее удобен для их обработки в рамках решаемой задачи (задач). Специализированная база данных сохраняется до полного завершения задач, для которых она создавалась.

Прогнозно-поисковые модели рудных объектов в настоящее время применяются на практике для решения широкого круга задач при прогнозировании полезных ископаемых, в том числе при ГМК [32, 78, 93, 100, 107, 118, 148, 149, 152, 154, 171, 174, 180, 219 и другие работы].

Иерархически построенные комплексные (геологические, геофизические, геохимические) прогнозно-поисковые модели рудных систем являются основой комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических, дистанционных

материалов при решении всех главных задач ГМК — изучении минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения оруденения, выборе информативной системы критериев прогнозирования и непосредственно в процессе выделения перспективных площадей и оценке их прогнозных ресурсов. Они применяются в течение всего процесса ГМК и по мере получения новой информации подвергаются корректировке. Корректировка прогнозно-поисковых моделей предназначена для их адаптации к конкретным условиям площади ГМК и особенностям проявления оруденения, так как рудные объекты любой рудной формации, наряду с общими для них признаками, в каждом регионе или рудном районе характеризуются особенностями, отличающими их от аналогичных объектов из другого региона или рудного района.

Одной из важных функций прогнозно-поисковых моделей является информационное обеспечение процесса прогнозирования оруденения, не выходящего на поверхность [100, 148, 149, 152, 154, 174].

Составными частями (иерархическими уровнями) прогнозно-поисковых моделей являются: 1) модели минерагенических зон; 2) модели рудных районов (узлов); 3) модели рудных полей (месторождений). В моделях всех трех уровней должны быть приведены в графической и (или) табличной форме минерагенические факторы и признаки рудных объектов данного уровня, их геофизические и геохимические характеристики, а также латеральная и вертикальная (для моделей 3-го, а иногда и 2-го уровня) рудная, геохимическая и гидротермально-метасоматическая зональность.

При ГМК-500 главное значение имеют модели минерагенических зон и модели рудных районов (узлов), т. е. модели объектов изучения и объектов прогнозирования, при ГМК-200 — модели рудных районов (узлов) и модели рудных полей (месторождений) [100].

Иерархически построенные прогнозно-поисковые модели целесообразно подбирать из числа имеющихся (многочисленные разработки ЦНИГРИ, ВСЕГЕИ, ЦНИИГеолнеруд и других, в том числе производственных, геологических организаций) или они должны разрабатываться исполнителями ГМК. В обоих случаях первоначальные варианты моделей должны рассматриваться в качестве первого приближения и подвергаться корректировке в течение всего процесса ГМК, в особенности

при изучении закономерностей размещения оруденения, а также исследований на эталонных участках.

Следует также обратить внимание на возможное применение в качестве информационной основы ГМК *экспертных компьютерно-аналитических систем*, предназначенных для автоматизированного хранения и компьютерной обработки геологических данных при прогнозной оценке площадей на определенную группу полезных ископаемых, связанных с потенциально рудоконтролирующими комплексами того или иного типа. С их помощью можно проводить сравнительную оценку изучаемых геологических комплексов, используя для оценки площадей базу знаний специалистов-экспертов и программное обеспечение, являющееся принадлежностью системы. Примерами подобных систем являются разработанные в ЦНИИГеолнеруд экспертные компьютерные аналитические системы «Гипергенез» и «Офиолит». Таких примеров пока мало, несмотря на очевидную перспективность работ в этом направлении. Разработка аналогичных систем для других типов потенциально рудоконтролирующих комплексов, имеющих важное практическое значение в том или ином регионе, может быть осуществлена путем проведения тематических работ.

Программное обеспечение

Программное обеспечение ГМК предназначено для автоматизации хранения и поиска первичных и производных геологических, геофизических, геохимических данных и МДЗ, результатов лабораторных исследований, а также для многоплановой обработки материалов в процессе изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования, выделении перспективных объектов и оценке их прогнозных ресурсов.

Приводимый ниже перечень программных продуктов составлен для 10 групп наиболее типичных задач ГМК (группировка задач произведена по их содержательному смыслу, поэтому некоторые программные продукты повторяются в различных группах). В перечень включены наиболее доступные программные продукты из числа поддерживаемых операционной системой WINDOWS и в той или иной степени зарекомендовавших себя на практике. Часть из них являются

общеизвестными и общедоступными; для специализированных программных продуктов, разработанных отраслевыми геологическими организациями, в скобках указана организация-разработчик, а также приведены ссылки на литературные источники.

Очевидно, что в ближайшее время и в дальнейшем будут появляться новые программные разработки и трудно определить, как долго приведенный перечень будет сохранять свою актуальность. Понятно также, что он далеко не полный (и в принципе не может быть полным). Вместе с тем для большинства рассматриваемых задач ГМК он избыточен и предоставляет пользователю возможность выбирать тот или иной вариант программного обеспечения, исходя из конкретного характера решаемых задач, преобладания тех или иных используемых материалов (например, некоторые программы прогнозирования ориентированы на обработку только количественных данных) и стоимости программ.

1. *Автоматизация хранения и поиска первичных и производных геологических, геофизических, геохимических данных, МДЗ и др. (программы для создания и использования электронных баз данных, в т.ч. — СБ) — АДК (СпецИКЦ РГ), Arc View, Arc GIS, Microsoft Office Access, Microsoft Office Excel.*

2. *Составление геологических, геофизических, геохимических карт, схем комплексной интерпретации, ПМК и других рабочих и результирующих графических документов — Arc View, Arc GIS.*

3. *Обработка геофизических материалов при прослеживании рудоконтролирующих геологических тел на поверхности и на глубине, объемном моделировании рудных объектов, районировании физических полей для целей прогнозирования — СИГМа (ВИРГ-Рудгеофизика), геофизический блок программного комплекса ГИС «INTEGRO» (ВНИИгеосистем), геофизический модуль программного комплекса «ГЕОПОЛЕ» (ИМГРЭ).*

4. *Обработка геохимических материалов при районировании геохимических полей, изучении поисковых признаков, изучении региональной и локальной геохимической зональности — геохимический модуль программного комплекса «ГЕОПОЛЕ» (ИМГРЭ), блок изучения закономерностей размещения полезных ископаемых программного комплекса «ПРОТЕЙ» (ВСЕГЕИ), «STATIS-TICA».*

5. *Изучение сопряженной рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, корректировка прогнозно-*

поисковых моделей — блок изучения закономерностей размещения полезных ископаемых программного комплекса «ПРОТЕЙ» (ВСЕГЕИ).

6. *Изучение закономерностей размещения и прогнозирование объектов полезных ископаемых на основе ГИС-технологий* — ГИС «INTEGRO» (ВНИИгеосистем), Arc View, Arc GIS, внутренняя ГИС программного комплекса «ПРОТЕЙ» (ВСЕГЕИ).

7. *Изучение закономерностей размещения и выделение перспективных объектов полезных ископаемых методом распознавания образов и автоматической классификации, оценка прогнозных ресурсов методом распознавания образов* — ГИС «INTEGRO» (ВНИИгеосистем), программный комплекс «ПРОТЕЙ» (ВСЕГЕИ), геофизический модуль программного комплекса «ГЕОПОЛЕ» (ИМГРЭ).

8. *Линеаментный анализ космических снимков и определение связи линеаментных систем с объектами полезных ископаемых при прогнозно-минерагенических исследованиях* — программный комплекс «КОЛАН» (ЦНИИГеолнеруд), Arc View, Arc GIS.

9. *Статистическая обработка результатов индивидуальных экспертных оценок прогнозных ресурсов, оценка прогнозных ресурсов регрессионным методом* — «STATISTICA», Microsoft Office Excel.

10. *Статистическая обработка результатов лабораторных исследований* — «STATISTICA», Microsoft Office Excel.

Описание перечисленных в перечне программных продуктов, разработанных отраслевыми геологическими организациями, приведено в работах [77, 98, 154, 157, 174, 189, 222, 223].

Изучение минерагенических факторов и поисковых признаков

Процесс изучения минерагенических факторов и поисковых признаков включает:

— Выявление или уточнение совокупности всех типов потенциально рудоконтролирующих геологических тел и структур, форм рельефа, геофизических аномалий, полей развития региональных гидротермалитов и повышенных содержаний рудных элементов и их спутников и др., которые могут рассматриваться в качестве минерагенических факторов, а также всех типов поисковых признаков, в том числе косвенных (локальных гидротермалитов, железных шляп, геофизических аномалий, обусловленных этими образованиями

или непосредственно телами полезных ископаемых, геохимических аномалий и пунктов минерализации элементов-спутников основного оруденения и др.). Минерагенические факторы и поисковые признаки выявляются путем установления статистически устойчивых пространственных связей тех или иных элементов геологического строения и характеристик территории с известными (эталонными) месторождениями и рудоносными площадями с применением ГИС-технологий. При отсутствии или недостаточном количестве эталонных объектов на площади ГМК и на соседних площадях минерагенические факторы определяются на основе известных критериев прогнозирования [79], имеющихся прогнозно-поисковых моделей, изучения (уточнения) формационной принадлежности геологических тел (установления их принадлежности к потенциально-рудоносным геологическим формациям), изучения их геохимической специализации, других вещественных признаков реальной рудоносности, анализа пространственных связей с прямыми поисковыми признаками, известными на изучаемой площади или выявленными в процессе проведения ГМК.

— Уточнение характера пространственных связей рудных объектов с рудоконтролирующими геологическими телами и структурами (расположение месторождений в боковых экзо-контактах, кровле или в надынтрузивной зоне массивов гранитоидов, в определенных горизонтах расслоенных щелочных или ультрамафит-мафитовых плутонов, в пределах зон разрывных нарушений или на определенном расстоянии от них, в подошве или кровле рудовещающей осадочной формации, наличие или отсутствие возрастного скольжения оруденения в ее пределах и другие особенности пространственных соотношений оруденения с рудоконтролирующими образованиями); определение размеров зоны влияния минерагенических факторов по латерали и вертикали.

— Установление роли каждого из минерагенических факторов в рудообразовании (рудогенерирующей, рудомобилизующей, рудопреобразующей, рудо локализующей, рудоподводящей, рудораспределяющей, экранирующей) и россыпеобразовании (способствующие разрушению коренных источников или промежуточных коллекторов россыпеобразующих минералов, их переносу, отложению, сохранению россыпей и др.); выделение наряду с положительными минерагеническими факторами, способствующими образованию

месторождений полезных ископаемых, их сохранности, отрицательных, препятствующих образованию месторождений или обуславливающих их разрушение, деконцентрацию полезных компонентов, снижение качества минерального сырья (обогащенности руд, сохранности кристаллических решеток оптических или драгоценных минералов и др.);

— Разделение минерагенических факторов на факторы I рода — непосредственно выделяемые и прослеживаемые с помощью визуальных геологических наблюдений, геофизических, геохимических, дистанционных методов, и факторы II рода — реконструированные в процессе камеральных работ характеристики той или иной части площади (геодинамические, палеогеографические, палеогеоморфологические, глубины эрозионного среза и др.), а также на региональные, используемые для уточнения границ минерагенических зон и выделения потенциальных рудных районов и узлов, и локальные, контролируемые рудные поля и месторождения.

— Изучение вещественного состава всех типов потенциально рудоконтролирующих геологических тел литолого-петрографическими, петрохимическими, минералого-геохимическими, геохимическими методами с целью определения (уточнения) формационной принадлежности, установления признаков их принадлежности к конкретным типам рудоконтролирующих геологических образований, развитым на площади работ, установления их геохимической специализации, выявления их идентификационных признаков.

— Изучение характеристик вещественного состава всех типов геологических тел, являющихся прямыми и косвенными поисковыми признаками и тел полезных ископаемых.

— Изучение физических свойств горных пород, слагающих рудоконтролирующие геологические тела, рудные тела и вмещающие их породные комплексы, различные фации гидротермалитов, статистическую обработку представительных выборок по каждой породной разновидности.

— Разработку технологии картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков, применительно к типам прогнозируемых рудных объектов и условиям изучаемой площади, обеспечивающей надежное их прослеживание на поверхности, под покровом рыхлых отложений, и ниже уровня эрозионного среза рудовмещающего породного комплекса, при минимально возможных затратах средств, труда и

времени. Минимизация затрат достигается: 1) за счет рационального комплексирования методов и последовательности их применения, оптимальных методик проведения работ каждым из методов, 2) использования современных достижений в области методной и комплексной компьютерной интерпретации материалов, позволяющих извлекать максимум информации из имеющихся результатов исследований, 3) рационального использования материалов предшественников, 4) сведения наиболее затратных видов исследований — полевых геофизических и геохимических, а также горнопроходческих, буровых работ и каротажа скважин к необходимому минимуму, обеспечивающему достоверность прогнозной оценки площади.

— Картографирование минерагенических факторов и поисковых признаков — их прослеживание на поверхности и на глубине по результатам методной и комплексной компьютерной интерпретации информации, полученной в результате дистанционных съёмок, ранее проведенных и собственных геофизических и геохимических работ, полевых наблюдений, с детальностью, обеспечивающей полноту выявления закономерностей размещения объектов прогнозирования, а также полноту и достоверность выделения и оконтуривания потенциальных рудных районов, узлов (при ГМК-500, 200) и полей, в том числе слепых и погребенных (при ГМК-200), оценку их прогнозных ресурсов [100].

Минерагенические факторы, являющиеся объектами картографирования при ГМК, прежде всего — геологические тела и тектонические структуры (факторы I рода), которые могут быть выявлены, идентифицированы и прослежены с помощью визуальных геологических наблюдений, интерпретации МДЗ, геофизических и геохимических материалов, и обладают статистически достоверной пространственной связью с рудными объектами прогнозируемого типа. При надежной идентификации и наличии доказанной пространственной связи с рудными объектами в качестве минерагенических факторов могут выступать также неинтерпретируемые или ненадежно интерпретируемые геофизические аномалии определенного типа, характерные элементы фотоизображения, выделенные с помощью МДЗ, кольцевые структуры, выявленные по геофизическим данным или МДЗ и др. При ГМК-500 объектом картографирования являются преимущественно региональные минерагенические факторы I-го рода, при ГМК-200 — преимущественно локальные.

Поисковые признаки рудных объектов прогнозируемого типа, как прямые, так и косвенные, с целью сокращения затрат целесообразно изучать только в зоне влияния минерагенических факторов, а также на известных или впервые установленных перспективных площадях. На этих площадях проводят более детальные, чем на остальной площади геологические маршруты, геофизические исследования, геохимическое, шлиховое, шлихо-геохимическое опробование, при необходимости — горные работы, бурение и каротаж скважин.

Прослеживание рудоконтролирующих геологических тел на глубине в основном производится путем качественной и количественной интерпретации геофизических материалов, чаще всего — данных гравиразведки и магниторазведки методом подбора на компьютере [32, 98, 99, 149, 152, 171, 173 и другие работы].

На всех этапах изучения минерагенических факторов и поисковых признаков используются электронные базы данных и прогнозно-поисковые модели объектов прогнозирования. По результатам изучения минерагенических факторов и поисковых признаков дополняются электронные базы данных, а при получении принципиально новой информации корректируются прогнозно-поисковые модели.

В процессе проведения работ, по мере получения их результатов, технологию картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков целесообразно подвергать анализу и, при необходимости, корректировке с учетом уточненной информативности методов в конкретных условиях площади ГМК.

Изучение закономерностей размещения объектов прогнозирования и установление многопараметрических критериев их прогнозирования

Цель изучения закономерностей размещения объектов полезных ископаемых — установление критериев прогнозирования для всех их типов, являющихся, в соответствии с геологическим зданием, объектами прогнозирования.

Основное содержание процесса изучения закономерностей размещения объектов полезных ископаемых прогнозируемого типа (типов) заключается в исследовании их пространственных связей с определенными типами геологических тел и тектонических структур, прямых и косвенных поисковых призна-

ков, выявленных в результате их картографирования, а также в установлении главных элементов рудной, геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, установлении связи элементов рудной зональности с элементами геохимической и гидротермально-метасоматической.

При ГМК-500 в процессе изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования анализируются их пространственные связи преимущественно с региональными минерагеническими факторами I-го рода и элементами региональной латеральной геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, при ГМК-200 — преимущественно с локальными минерагеническими факторами I-го рода и элементами локальной латеральной и вертикальной геохимической и гидротермально-метасоматической зональности.

Наиболее универсальным компонентом методики изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, не зависящим от типа объектов прогнозирования и особенностей геологической обстановки, является изучение пространственных связей между геологическими и рудными формациями [79, 160]. На практике этот процесс чаще осуществляется путем изучения пространственных связей между объектами полезных ископаемых определенной рудно-формационной принадлежности и геологическими телами, принадлежащими к выделенным на изучаемой площади породным комплексам (магматическим, осадочным, метаморфическим), которые при правильном выделении являются геологическими объектами формационного уровня, как правило, с известной формационной принадлежностью. При этом иногда возникает проблема правильности выделения породных комплексов и отнесения конкретных геологических тел к тому или иному из комплексов, но она решается практически теми же методами и с той же степенью объективности, что и формационная диагностика, и, кроме того, обычно облегчается тем, что обоснованно выделенные комплексы образуют ареалы пространственно сближенных геологических тел, находящихся в единой тектонической позиции.

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых производится с применением ГИС-технологий, а также специализированных программных продуктов, обеспечивающих выявление не только очевидных, легко устанавливаемых при визуальном анализе, но и слабо проявленных простран-

венных связей, с количественной оценкой их достоверности (неслучайности) [69, 101, 149, 154, 222, 223 и другие работы], что увеличивает прогностические возможности минерагенического анализа.

В процессе изучения закономерностей размещения оруденения для каждого типа прогнозируемых рудных объектов составляется комплект основных и вспомогательных карт, отражающих распределение перечисленных выше минерагенических факторов и поисковых признаков. Состав комплекта может варьировать в зависимости от типа прогнозируемого оруденения, но в большинстве случаев он включает карту рудоносных (применительно к оруденению прогнозируемого типа) геологических формаций, карту полезных ископаемых, карту глубинного строения (по геофизическим данным), прогноз-но-геохимическую или районирования геохимических полей, рабочую карту закономерностей размещения рудных объектов прогнозируемого типа, а также вспомогательные геофизические, геохимические карты, схему дешифрирования МДЗ, схему комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ и др.

Комплект составляется в ГИС-технологиях, облегчающих аналитическое изучение закономерностей размещения оруденения.

С помощью ГИС-технологий и специализированных программных продуктов анализируются пространственные связи каждого из минерагенических факторов в отдельности и их парагенезисов (закономерно повторяющихся их сочетаний в разных частях изучаемой площади) с эталонными объектами полезных ископаемых (а в случае их отсутствия — с поисковыми признаками, в первую очередь с прямыми, и полями пространственно сближенных прямых и косвенных поисковых признаков), проверяется статистическая значимость (неслучайность) выявленных закономерностей и формируются многопараметрические критерии прогнозирования.

Аналогичным образом подвергаются эмпирической проверке региональные и локальные минерагенические факторы II рода.

При ГМК-500 региональные многопараметрические критерии прогнозирования формируются как парагенезисы региональных минерагенических факторов и полей распространения поисковых признаков.

При ГМК-200 локальные многопараметрические критерии прогнозирования должны быть подразделены на критерии прогнозирования рудных полей, выходящих на поверхность эрозионного среза рудовмещающего комплекса и слепых, залегающих ниже этой поверхности. Первые формируются как парагенезисы локальных минерагенических факторов и полей распространения прямых и косвенных поисковых признаков, вторые как парагенезисы локальных минерагенических факторов и полей распространения косвенных поисковых признаков, характерных для надрудной зоны рудных полей и месторождений — гидротермалитов надрудной фации, геохимических аномалий, пунктов минерализации и проявлений рудных элементов-спутников основного оруденения, типичных для надрудной зоны гидротермально-рудной системы, геофизических аномалий, интерпретируемых как надрудные и др. Признаки надрудной зоны устанавливаются по результатам изучения рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, исследований на эталонных участках и с помощью прогнозно-поисковой модели.

При изучении рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности с помощью ГИС-технологий и специализированных программных продуктов анализируются результаты картографирования проявлений полезных ископаемых и пунктов минерализации, геохимического поля, региональных и локальных гидротермалитов и устанавливаются пространственные связи между элементами латеральной региональной (преимущественно при ГМК-500), а также латеральной и вертикальной локальной (преимущественно при ГМК-200) рудной, геохимической, и гидротермально-метасоматической зональности. При выявлении вертикальной составляющей локальной зональности используются результаты работ на эталонных участках и прогнозно-поисковые модели рудных полей. Элементы изученной региональной и локальной зональности используются в качестве важных дополнительных критериев прогнозирования, в том числе элементы вертикальной составляющей локальной зональности — в качестве критерия прогнозирования рудных полей и месторождений, не выходящих на поверхность.

При ГМК-200, при прогнозной оценке рудных районов и узлов, для которых характерна рудно-геохимическая и (или) гидротермально-метасоматическая зональность, согласная с

элементами магматической расслоенности плутонов, со стратификацией вулканогенного, вулканогенно-осадочного, осадочного, метаморфического комплекса или субсогласная с поверхностью кровли гранитовидных плутонов, гранито-гейсовых куполов эффективным методом изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования является объемное геолого-геофизическое моделирование объекта изучения (рудного района или узла) с последующей привязкой установленной на поверхности латеральной рудно-геохимической, гидротермально-метасоматической зональности к элементам геолого-геофизической модели, что с приемлемой степенью приближения позволяет экстраполировать зональность на глубину [149, 174]. Объемное моделирование рудно-геохимической системы (РГС) рудного района или узла обычно производится до глубины, определяемой ее вертикальной протяженностью, которая, как правило, значительно превышает глубину рентабельного освоения месторождений. В большинстве случаев вертикальный размах РГС составляет несколько км, но в отдельных случаях может достигать 10 км и более. Объемная модель РГС рудного района (узла) отражает ее положение в трехмерном пространстве, форму и зональность.

Геолого-геофизическое моделирование производится методом подбора на компьютере в диалоговом режиме, а при экстраполяции зональности на глубину используются прогнозно-поисковые модели рудных районов (узлов) и рудных полей (месторождений) соответствующих типов. Составленная таким образом комплексная объемная модель оцениваемого рудного района или узла позволяет рассматривать его как единую трехмерную структуру, в пределах которой рудоматеринские и рудовмещающие тела, рудные поля, месторождения, геохимические и гидротермально-метасоматические ореолы разных рангов взаимно обусловлены, представляя собой единую систему с закономерно связанными элементами. Это создает возможность объемного изучения закономерностей размещения объектов полезных ископаемых и установления критериев их прогнозирования, основанных на их связи с геологическими телами, не выходящими на поверхность (со структурными элементами кровли слепых гранитовидных массивов или гранито-гейсовых куполов, рудовмещающими фациями расслоенных мафит-ультрамафитовых или фойдитовых массивов, слоистых осадочных, вулканогенных, вулканогенно-осадочных, мета-

морфических комплексов), с элементами геохимической и гидротермально-метасоматической зональности и др. Парагенезисы подобных слепых рудоконтролирующих объектов (нередко в совокупности с рудоконтролирующими объектами иных типов, закартированными на поверхности) представляют собой многопараметрические критерии прогнозирования рудных полей и месторождений — выходящих или не выходящих на поверхность или и тех, и других [149, 174].

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых производится в течение всего процесса ГМК, начиная с подготовительного периода. По мере получения новых результатов изучения минерагенических факторов и поисковых признаков должны уточняться и детализироваться закономерности размещения полезных ископаемых и обновляться рабочий вариант (варианты) ПМК, а также производиться корректировка прогнозно-поисковых моделей.

Выделение перспективных площадей

Рудоносные площади выявляются по многопараметрическим критериям прогнозирования, установленным по результатам изучения закономерностей размещения рудных объектов прогнозируемого типа.

Высокая степень обоснованности и объективности выделения перспективных площадей обеспечивается сочетанием неформальных методов прогнозно-минерагенических исследований и количественных компьютерных методов выделения перспективных площадей, как правило, реализующих те или иные алгоритмы распознавания образов.

Перспективность площадей характеризуется мерой сходства с эталонными рудными объектами, расположенными на площади ГМК или с прогнозно-поисковой моделью рудных объектов прогнозируемого типа.

Мера сходства определяется по полноте проявления ассоциации рудоконтролирующих признаков (критериев прогнозирования) с учетом индивидуальной информативности каждого из них. При выделении перспективных площадей применяются ГИС-технологии, позволяющие осуществить неформальный (визуальный) анализ подобия оцениваемого участка эталонным объектам, известным на площади проведения ГМК или

прогнозно-поисковой модели, а также используются программы компьютерного прогнозирования, как правило, реализующие различные алгоритмы распознавания образов и позволяющие осуществить количественную дифференцированную оценку перспектив изучаемой площади с ранжированием локальных площадей (участков) по степени перспективности.

При ГМК-200 выделение потенциальных рудных полей (месторождений), не выходящих на поверхность рудоносного комплекса (слепых, погребено-слепых) осуществляется с помощью прогнозно-поисковой модели и также может проводиться как неформальными методами, так и с помощью компьютерных программ, реализующих алгоритмы распознавания образов (с использованием в качестве обучающего эталона прогнозно-поисковой модели). В обоих этих случаях суть процесса прогнозирования сводится к анализу подобия оцениваемого участка различным зонам прогнозно-поисковой модели, в том числе надрудным, а качество прогнозирования напрямую зависит от качества прогнозно-поисковой модели, прежде всего от того, насколько полно и адекватно в ней отражены рудно-геохимическая, гидротермально-метасоматическая зональность или иные виды зональности, а также типовые пространственные соотношения между оруденением и контролирующими его геологическими образованиями.

При проведении компьютерного прогнозирования методом распознавания образов результаты всех промежуточных и результирующей операций должны подвергаться неформальному геологическому анализу.

Достоверность выделения перспективных площадей определяется геологической обоснованностью и объективностью выделения каждой из них, наличием их сходства с эталонными рудоносными площадями или с прогнозно-поисковой моделью соответствующего ранга по всем или большинству критериев прогнозирования. Она оценивается путем выборочного проведения детализационных работ на единичных перспективных площадях, выбираемых таким образом, чтобы проверкой были охвачены все типы объектов прогнозирования. Работы ориентируются на подтверждение и детализацию региональных и локальных минерагенических факторов, обнаружение прямых и косвенных поисковых признаков прогнозируемого минерального сырья, на установление локальных критериев прогнозной оценки и их параметров (мощности потенциально

продуктивных горизонтов, протяженности минерализованных зон и т. п.).

Оконтуривание выявленных перспективных объектов — рудных районов, узлов, полей, или уточнение границ ранее известных производится с учетом распространения рудоконтролирующих геологических тел и обусловленных ими характерных элементов геофизических полей, рудной минерализации, геофизических и геохимических аномалий рудной природы или косвенных признаков, свидетельствующих о возможном наличии не выходящего на поверхность оруденения.

Успешность реализации рассмотренных методических принципов напрямую зависит от организационных вопросов проведения ГМК, прежде всего от укомплектованности партии специалистами различного профиля, необходимыми для обеспечения комплексности интерпретации, — металлогенистами, геологами-съемщиками и поисковиками, геофизиками-интерпретаторами, геохимиками, специалистами по дешифрированию МДЗ, по компьютерной обработке материалов, а также, при необходимости, геоморфологом, программистом и др., что предусмотрено «Требованиями к организации и проведению геолого-минерагенического картирования...» [206]. Весь имеющийся опыт проведения ГМК и других видов региональных геологических работ (РГР) показывает, что широко распространенная практика проведения интерпретации геофизических, геохимических материалов, МДЗ сторонними организациями без непрерывного взаимодействия с коллективом организации-исполнителя РГР не обеспечивает комплексности интерпретации и приводит к неэффективному использованию результатов соответствующих видов исследований, прежде всего геофизических, а также к снижению качества РГР и их результативности.

Другой ключевой вопрос организации ГМК, непосредственно влияющий на качество и результаты прогнозно-минерагенических исследований, — необходимость своевременной подготовки геофизического и геохимического обеспечения. Для полноценного выполнения перечисленных выше главных технологических операций прогнозно-минерагенических исследований камеральные (и, в случае необходимости, полевые) работы по составлению обязательных геофизических и геохимических материалов, составляемых на всю площадь ГМК-500 или ГМК-200, должны быть завершены в

течение подготовительного периода. Подготовка дополнительных геофизических и геохимических материалов (на всю площадь или на площадь наиболее перспективных потенциальных рудных районов, зон, узлов, полей), также выполняемая с помощью камеральных (при необходимости и полевых) работ, должна быть завершена не позднее окончания последнего промежуточного камерального периода (до начала последнего полевого сезона) [206].

Содержание обязательных и дополнительных геофизических и геохимических материалов и сроки их завершения регламентируются «Требованиями к организации и проведению геолого-минерагенического картирования...» [206]. Превышения принятых предельных сроков составления обязательных или дополнительных геофизических и геохимических материалов являются одной из наиболее распространенных причин неэффективного использования результатов геофизических и геохимических работ и, как следствие, снижения качества ГМК и его результативности. В некоторых случаях, с учетом конкретных решаемых задач прогнозно-минерагенических исследований, может возникнуть необходимость предусматривать и более жесткие сроки завершения геофизических и геохимических работ.

Более полное изложение вопросов организации ГМК приводится в следующем разделе.

1.2. Организация ГМК

Размещение Государственного заказа на проведение ГМК производится на конкурсной основе и регламентируется Федеральным законом от 21.07.2005 № 94 ФЗ «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд».

Продолжительность работ по каждому отдельному объекту ГМК может составлять 3–4 года, длительность полевых сезонов зависит от объема полевых работ и климатических условий района.

После заключения контракта организация-исполнитель проекта ГМК формирует партию, структура и состав которой зависит от геолого-географических условий территории ГМК, ее геологической изученности, сложности прогнозирования минеральных месторождений и количества формационных

типов, указанных в геологическом задании. Основным структурным подразделением партии являются полевые отряды. В зависимости от решаемых задач и профиля работ они подразделяются на геологический, геофизический, геохимический и поисковый. При большом количестве и разнообразии исходных материалов, сложности их обработки в партии создается постоянная камеральная группа.

Геологический отряд проводит геологические и геолого-поисковые маршруты с опробованием, изучение типовых разрезов рудовмещающих толщ, геологическое изучение объектов дешифрирования, геофизических аномалий.

Геофизический отряд проводит комплекс наземных площадных и профильных геофизических работ, в том числе на локальных поисковых участках, отбор образцов для изучения физических свойств (или осуществляет контроль за их отбором геологами), проводит интерпретацию геофизических материалов (собственных и предшественников).

Геохимический отряд проводит отбор проб для изучения геохимической специализации геологических тел, площадное геохимическое опробование (геохимические поиски), определение природы геохимических полей, детализацию и заверку выявленных геохимических аномалий.

Поисковый отряд проводит поисковые маршруты, исследования на эталонных участках, проходку и документация горных выработок и скважин, опробование рудных проявлений. При наличии в геологическом задании буровых работ отряду придается буровая бригада.

Сотрудники геологического, геофизического, геохимического, поискового отрядов при проведении камеральной обработки, как промежуточной (между полевыми сезонами), так и окончательной, участвуют в процессе комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ, тесно взаимодействуя между собой.

Отдельным вопросом при организации работ по ГМК является обеспеченность материалами аэрокосмических и топографических съемок. При проведении ГМК-500 в комплект обязательных для работы материалов должны входить:

— цифровые материалы космических съемок LandsatTM, Landsat ETM+ с пространственным разрешением 10–30 м в семи спектральных диапазонах 0,45–12 мкм при полосе обзора 185 км. На сегодня глобальный архив программ Landsat 5 и Landsat 7 содержит покрытие всей территории России;

— цифровые материалы космических съемок Ресурс (МСУ-СК, МСУ-Э) с пространственным разрешением 10–45 м в шести спектральных диапазонах 0,5–4,1 мкм при полосе обзора 45–60 км. На сегодня архив программы Ресурс МСУ покрывает всю территорию России;

— цифровые ретроспективные материалы аэрофотосъемок масштаба 1 : 200 000;

— цифровые топографические карты масштабов 1 : 500 000 (отчетный масштаб), 1 : 1 000 000 (обзорный), 1 : 200 000–1 : 50 000 (рабочий);

— комплекты Госгеолкарты-1000/2 и Госгеолкарты-200 с объяснительными записками;

— геологические и карты полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000 и отчеты о результатах крупномасштабных геологосъемочных работ.

При проведении ГМК-200 в комплект обязательных для работы материалов, помимо вышеперечисленных, должны входить:

— цифровые материалы космических съемок Ресурс (МСУ-ДК) с пространственным разрешением 2–10 м в трех спектральных диапазонах 0,5–1,0 мкм при полосе обзора 45–60 км;

— цифровые ретроспективные материалы аэрофотосъемок масштаба 1 : 100 000 и детальнее;

— цифровые топографические карты масштабов 1 : 200 000 (отчетный масштаб), 1 : 500 000 (обзорный), 1 : 100 000–1 : 25 000 (рабочий);

— геологические и карты полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000 и крупнее и отчеты о результатах всех крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ.

Для компьютерной обработки и комплексного анализа партия, проводящая работы по ГМК, должна быть оснащена необходимым количеством автоматизированных рабочих мест (компьютер—сканер—принтер).

Работы по ГМК проводятся в единой технологической последовательности: подготовительные работы и проектирование, полевые работы, лабораторные и промежуточные камеральные работы, окончательные камеральные работы, включая составление окончательного отчета.

Проектирование

Проектно-сметная документация (ПСД) разрабатывается организацией-исполнителем ГМК; за основу принимается проектное решение, представившееся на конкурс.

Основная задача проектирования — обоснование исследований и объемов работ, ресурсов труда, времени и финансовых средств, необходимых для решения задач ГМК, указанных в геологическом задании.

В состав работ входят:

- сбор и предварительный анализ фондовых материалов по геологии и полезным ископаемым территории проведения ГМК;

- изучение опубликованной литературы по геологии месторождений прогнозируемых типов;

- оформление заказов и получение материалов дистанционных съемок;

- предварительное дешифрирование и обработка материалов дистанционных съемок;

- составление перечней установленных минерагенических факторов и поисковых признаков прогнозируемых формационных типов оруденения;

- создание предварительных вариантов прогнозно-поисковых моделей объектов;

- создание электронных баз данных по полезным ископаемым района, минерагеническим факторам и поисковым признакам;

- составление регистрационной карты полезных ископаемых;

- составление предварительной карты (или карт) закономерностей размещения полезных ископаемых;

- подготовка и составление проектно-сметной документации.

По результатам работ данного этапа представляются:

- проект на производство ГМК;

- базы данных по полезным ископаемым района работ и регистрационная карта;

- модели прогнозируемых формационных типов оруденения;

— перечни установленных минерагенических факторов и поисковых признаков прогнозируемых формационных типов оруденения;

— схема предварительного дешифрирования и комплект типовых КАФС, отражающих степень выраженности главных минерагенических факторов прогнозируемых формационных типов оруденения, составленный по результатам обработки материалов дистанционных съемок.

В методической части проектно-сметной документации приводятся общие сведения об объекте ГМК, характеристика его изученности, методика проектируемых работ, их сводный перечень с указанием объемов по каждому виду работ, а также таблица соответствия геологических задач, методов их решения и видов работ.

В производственной части приводятся: характеристика организационных условий производства работ, расчет затрат труда и расходования материалов на все виды проектируемых работ, объемы которых приведены в методической части.

В смету входит сводная таблица сметной стоимости работ, в том числе приводятся объемы и стоимости работ на текущий год, а также расчеты по каждому виду работ и затрат, приведенных в сводной таблице.

Полевые работы

Полевые работы при проведении ГМК включают различные виды и методы, направленные на:

— выявление, изучение, прослеживание на местности и картографирование минерагенических факторов и поисковых признаков;

— изучение, опробование и детализация потенциально рудоносных тел в пределах выявленных перспективных площадей;

— наземную заверку поисковых объектов, проверку качества прогноза и сбор дополнительных данных для определения прогнозных ресурсов прогнозируемых типов полезных ископаемых.

Полевые работы проводятся:

— на эталонных объектах (типичные рудные узлы, поля, месторождения или крупные проявления) для ознакомления со свойственными им региональными и локальными минерагеническими факторами и поисковыми признаками, установ-

ления степени их выраженности в различных типах геофизических полей, МДЗ и др.;

— на всей территории проведения ГМК, для прослеживания, картографирования минерагенических факторов;

— в зоне влияния минерагенических факторов для выявления и картографирования поисковых признаков;

— на участках с известными проявлениями, геохимическими аномалиями, ореолами или потоками рассеяния, геофизическими аномалиями предположительно рудной природы с целью их доизучения или определения геологической природы аномальных объектов;

— на перспективных площадях с целью проверки прогнозных построений и оценки прогнозных ресурсов.

Виды и методы полевых работ, их комплексирование и объемы зависят от изученности района, типа прогнозируемых месторождений, обнаженности территории ГМК и дешифрируемости геологических образований. В самом общем виде в состав полевых работ могут входить геофизические площадные и профильные работы, геологические и поисковые маршруты, геоморфологические наблюдения, шлиховые, шлихо-геохимические и геохимические работы, проходка канав и шурфов, бурение отдельных скважин и их каротаж, а также различные виды опробования. Выполнение этих и иных видов работ регламентируется действующими инструктивными документами.

Целесообразно проводить геологические маршруты после проведения геофизических исследований и планировать их с учетом результатов предварительной комплексной интерпретации имеющихся геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ. По организационным причинам не всегда возможно до начала геологических маршрутов провести комплекс геофизических исследований на всей площади работ. В этих случаях геологические маршруты начинают проводить на тех частях площади, которые уже обеспечены геофизическими материалами, и продолжают их на остальных ее частях по мере завершения на них геофизических исследований.

Геофизические работы проводятся для прослеживания минерагенических факторов и поисковых признаков на поверхности, под покровом рыхлых отложений и ниже эрозионной поверхности рудоносного комплекса, для оценки прогнозных ресурсов, Геофизические работы могут выполняться в площадном и (или) профильном варианте, при оценке прогнозных ресурсов они могут включать методы скважинной геофизики.

Методы и модификации определяются в каждом конкретном случае, соотносясь с вещественно-структурными особенностями площади, с учетом результатов изучения физических свойств картографируемых рудоконтролирующих и рудных образований и вмещающих их пород, природными условиями ведения работ.

Геологические маршруты проводятся для определения геологической природы и картографирования минерагенических факторов, а также и решения геологических вопросов, связанных с установлением возраста прогнозируемых типов оруденения, структурного положения и т. д. Геологические маршруты выполняются методами искаживания, «кольца», вкрест простирания по всей территории проведения ГМК.

Поисковые маршруты выполняются методом геологического обследования или профильным с опробованием потенциально продуктивных и рудоносных пород в пределах опорных участков.

Десантные маршруты выполняются на вертолетах, автомобилях, вездеходах, лодках для геолого-поискового обследования и опробования, разобщенных друг от друга опорных участков для предварительной оценки степени их перспективности.

Геоморфологические наблюдения являются обязательными при ГМК, так как определенные формы, типы рельефа могут играть роль минерагенических факторов или являться диагностическими признаками других минерагенических факторов. Геоморфологические наблюдения по возможности следует совмещать с геологическими маршрутами.

Геохимические поиски проводятся для установления и прослеживания литологических и фациально-петрографических минерагенических факторов, для обнаружения полезного ископаемого и подсчета прогнозных ресурсов. Отбор геохимических проб по возможности проводится по относительно регулярной сети в пределах опорных участков или при подсчете прогнозных ресурсов по категории P_2 .

Горные (канавы, шурфы, расчистки) и буровые работы проводятся только на опорных участках, перспективность которых доказана поисковыми маршрутами и опробованием, и направлены на вскрытие, опробование и определение расчетных параметров зон рудной минерализации или рудных тел для оценки качества и прогнозных ресурсов. Задание конкретных горных выработок и скважин производится с учетом геофизических и геохимических данных.

Опробование полезных ископаемых и горных рудовмещающих пород является обязательным видом полевых работ, направленных на получение количественных характеристик прогнозируемого типа оруденения. Из основных видов опробования следует выделить шлиховое (рядовое и крупнообъемное), бороздовое, точечное.

Все пункты геологических, геофизических, геохимических и иных наблюдений, пункты отбора проб привязываются на местности с использованием инструментальных методов привязки с помощью приборов систем GPS или Глонасс, и выносятся на карту фактического материала. Все виды полевых работ сопровождаются полевой документацией в виде полевых дневников, аппаратных журналов, журналов опробования, журналов документации горных выработок, буровым журналом.

Лабораторные работы

В процессе лабораторных работ производится изучение физических свойств горных пород, слагающих рудоконтролирующие геологические тела, различные фации гидротермалитов, рудные тела и вмещающие их породные комплексы, а также производится пробоподготовка и лабораторный анализ проб для изучения вещественного состава всех типов потенциально рудоконтролирующих геологических тел, рудных образований, анализа результатов площадного геохимического, шлихо-геохимического, шлихового опробования и др.

После пробоподготовки отобранные пробы отправляются на различные виды анализов, обязательный и желательный перечень которых приведен в табл. 1.2.1.*

Подчеркнуты современные количественные аналитические методы диагностики, применение которых выводит изучение вещественного состава рудовмещающих пород и руд на качественно новый мировой уровень.

Камеральные работы

Камеральная обработка материалов при ГМК включает разнообразные процессы и приемы анализа и обработки геологической информации, которые по многим аспектам являются

* Все таблицы см. в п. «Таблицы».

общими для всех видов геологических исследований [58]. Конкретные виды и приемы камеральных работ определяются спецификой минерагенических факторов и характером поисковых признаков прогнозируемых месторождений. Камеральный этап включает промежуточную камеральную обработку между полевыми сезонами и окончательную обработку, включая написание отчета и составление итогового комплекта карт, по окончании работ. На всех подэтапах камеральной обработки материалов проводится комплексная интерпретация геологических, геофизических, геохимических, аналитических и МДЗ с использованием компьютерных технологий и методов тематической обработки материалов.

Промежуточная камеральная обработка выполняется после каждого полевого сезона. С учетом специфики проведения ГМК на различные виды полезных ископаемых в различных геолого-структурных обстановках промежуточная камеральная обработка включает:

- изучение фондовых и опубликованных материалов;
- дешифрирование и компьютерную обработку МДЗ с учетом ретроспективных материалов и материалов современных съемок;
- получение и обработку результатов аналитических работ, позволяющих получить геохимические, геофизические, петрографические характеристики, возрастные датировки рудных образований, гидротермально-метасоматических и метаморфических изменений и рудовмещающих пород;
- микроскопическое изучение пород и руд, включая методы электронной микроскопии, составление описаний рудных объектов, уточнение легенд к картам;
- комплексный неформальный анализ, обобщение, качественная и количественная (с применением компьютерных технологий) методная и комплексная интерпретация ретроспективных и новых геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ, направленная на изучение минерагенических факторов и поисковых признаков, на уточнение и все большую (с каждым новым камеральным периодом) детализацию закономерностей размещения полезных ископаемых и критериев их прогнозирования, предварительное выделение, контурирование и оценку объектов прогнозирования;
- разработку и корректировку прогнозно-поисковых моделей объектов прогнозирования, с учетом результатов комплексного изучения минерагенических факторов и поисковых

признаков, уточнения и детализации закономерностей размещения полезных ископаемых;

— актуализацию баз данных;

— актуализацию и исправление цифровых карт (схем, металогенограмм) на основе данных камеральной обработки полевых материалов и аналитических работ;

— составление разделов и описаний к отчету по рудным объектам, по которым проведено изучение и обработан аналитический материал;

— пополнение геолого-минерагенических карт, выделение полей и ореолов распространения поисковых признаков по различным методам поисков и прогноза и на различные рудноформационные типы полезных ископаемых, определение перспективности новых объектов, оценка прогнозных ресурсов по категории P_3 и P_2 ;

— уточнение геологического задания и составление плана предстоящих полевых работ.

Материалы промежуточных камеральных работ принимаются комиссией организации-исполнителя.

Окончательная камеральная обработка материалов ГМК включает комплексную обработку всех материалов, составление комплекта геолого-минерагенических и прогнозных карт и отчета по результатам проведенных работ. Окончательная камеральная обработка сохраняет содержание и технологическую схему промежуточной обработки. Окончательная камеральная обработка включает:

— определение (или уточнение) возраста и рудноформационной принадлежности объектов картографирования, их геохимической и минерагенической специализации, оценка их продуктивности на те или иные виды полезных ископаемых;

— анализ материалов по магматизму, осадконакоплению, метаморфизму и метасоматозу, процессам формирования кор выветривания и связанных с ними полезных ископаемыми;

— тектонические и структурные исследования и определение связей с ними полезных ископаемых;

— геоморфологический и морфометрический анализы рельефа, изучение и выраженность в нем неотектонических и орогенных структур, связи с ними полезных ископаемых, в первую очередь россыпного типа;

— историко-геологические исследования (палеогеографический, литолого-фациальный, палеотектонический, палеогеодинамический, геoarхеологический, рудноформационный

анализы) по важнейшим металлогеническим эпохам формирования месторождений с составлением в компьютерных технологиях соответствующих карт, схем, планов, разрезов и т. д.;

— уточнение и детализация генетических, парагенетических, статистических связей между месторождениями, прогнозными критериями и поисковыми признаками, анализ закономерностей размещения полезных ископаемых с построением моделей эталонных и прогнозируемых рудных узлов и других перспективных структурно-вещественных комплексов, составление карты минерагенического районирования территории ГМК;

— актуализацию баз данных, используемых при анализе и построении комплекта карт по ГМК;

— оценку прогнозных ресурсов потенциальных рудных районов и узлов по категории P_3 , потенциальных рудных полей и месторождений по категории P_2 .

— составление в компьютерных технологиях комплекта карт ГМК, предусмотренных проектом;

— визуализация цифровых карт и получение твердых копий.

Результаты окончательной камеральной обработки представляются в виде:

— актуализированных и окончательно оформленных баз данных, в стандартах обеспечивающих их связь и возможность работы с общераспространенными ГИС;

— комплектов карт ГМК и отчета о выполненных работах в соответствии с требованиями к этим материалам;

— утвержденных на специальной секции прогнозных ресурсов по перспективным объектам и электронных паспортов перспективных участков;

— переданных на хранение в архив первичных материалов по всем видам работ и исследований; в музей — коллекции эталонных образцов, шлифов и аншлифов; в другие хранилища — дубликатов проб, керн скважин и т. д.; в Росгеолфонд — окончательного отчета и комплекта карт в аналоговой и цифровой формах, электронные паспорта перспективных рудопроявлений. Справки о передаче материалов прилагаются к отчету.

Камеральный период завершается рассмотрением комплекта карт ГМК, отчета, прогнозных ресурсов и паспортов перспективных участков на НТС организации-заказчика. После внесения всех дополнений и исправлений весь комплект материалов передается в Росгеолфонд, ВСЕГЕИ и отраслевой институт по принадлежности, согласно титулу и виду полезных ископаемых, проводимого ГМК.

Глава 2. ТИПЫ РУДОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ (применительно к задачам ГМК)

2.1. Рудоносные площади областей фанерозойской складчатости

В настоящем и последующих разделах гл. 2 рассматриваются классификации рудоносных площадей, предназначенные для описания типовых технологий изучения рудоконтролирующих геологических образований, а также закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей при ГМК, оценки прогнозных ресурсов (главы 5, 6, 7). Очевидно, что для описания этих технологий пригодны такие классификации, в которых рудоносные площади, соответствующие по рангу структурно-минерагеническим или минерагеническим зонам (объектам изучения ГМК-500) и рудным районам или узлам (объектам изучения ГМК-200) выделены по структурно-вещественным признакам.

Структурно-минерагенические зоны

Для минерагенических зон в наибольшей степени этому требованию соответствуют разработанные во ВСЕГЕИ классификации рудоносных площадей (структурно-минерагенических зон), приведенные в работе «Рудоносность и геологические формации структур земной коры» [160], а также в «Регламенте обоснования, апробации, учета и мониторинга информации о металлогеническом потенциале и прогнозных ресурсов категории Р₃, стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов сырья» (ВСЕГЕИ, 2005). В этих классификациях структурно-минерагенические зоны выделяются по таким структурно-вещественным признакам как зоны согласных или секущих комплексов, с преимущественным развитием вулканических или осадочных формаций, ультрамафического, мафического,

мафическо-салического, салического и т. д. типов (для зон с преобладанием магматических формаций), сланцевого, терригенного, терригенно-карбонатного и т. д. типов (для зон с развитием осадочных формаций) и, наконец, для каждого выделенного в классификациях типа структурно-металлогенических зон приводится перечень геологических и соответствующих им рудных формаций (табл. 2.1.1).

Геологические обстановки областей фанерозойской складчатости и связанные с ними полезные ископаемые отличаются большим разнообразием. Всего в табл. 2.1.1 выделяется 27 типов структурно-минерагенических зон, вмещающих 141 рудную формацию, в том числе представленные важнейшими промышленными месторождениями хрома, металлов платиновой группы, силикатного никеля, железа, титана, ванадия, меди, золота, серебра, свинца, цинка, молибдена, вольфрама, олова и др.

Рудные районы и узлы

Для рудных районов и узлов в качестве структурно-вещественной основы для описания типовых технологий ГМК-200 — изучения рудоконтролирующих геологических тел, изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей, оценки прогнозных ресурсов использована классификация рудных районов и узлов, приведенная в работе [149].

Приводимая в табл. 2.1.2 структурно-вещественная классификация рудных районов и узлов создавалась применительно к задачам их объемного изучения и прогнозной оценки при прогнозно-минерагенических исследованиях масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000 [149]. В силу структурно-вещественного принципа построения, она пригодна для описания типовых технологий выполнения всех перечисленных выше операций прогнозно-минерагенических исследований при ГМК-200. Она построена на использовании двух классификационных признаков: типа рудоконтролирующих геологических тел (массивы или интрузивные ареалы ультрамафических, мафических, щелочноультрамафических и щелочномафических пород, массивы или интрузивные ареалы гранитоидов различного состава, гранито-гнейсовые купола или их ареалы, вулканические постройки или ареалы развития вулкаников, стратифицированные комплексы

и формации — осадочные, вулканогенно-осадочные, метаморфические) и характера рудно-геохимической зональности (выделяются рудные районы и узлы с рудно-геохимической зональностью, согласной или субсогласной с элементами магматической расслоенности крупных плутонов, с поверхностью кровли гранито-гнейсовых куполов, со стратификацией вулканитов, со стратификацией осадочного, вулканогенно-осадочного, метаморфического комплексов, а также с рудно-геохимической зональностью, подчиненной системам разрывных нарушений различных типов — крупных контракционных трещин внутри плутонов, разрывных нарушений, обрамляющих или секущих плутоны или пересекающих интрузивный ареал, обрамляющих или секущих гранито-гнейсовые купола или пересекающих ареалы гранито-гнейсовых куполов).

Рассматриваемая классификация применима не только к рудным районам и узлам областей фанерозойской складчатости, но также и областей докембрийской складчатости и областей развития платформенного чехла. Поэтому ниже, в разд. 2.2, рассматриваются только классификация геологических обстановок, по рангу соответствующая структурно-минерогеническим и минерогеническим зонам.

2.2. Рудоносные площади областей докембрийской складчатости

История докембрия охватывает более 80 % геологической истории Земли. За этот период сформировались основные особенности строения земной коры и ее верхней части — гранитного слоя. В пределах континентов обнаженный докембрий составляет около 20 % их площади. Вместе с площадями его развития в фундаменте платформ его общая территория составит около 75 % суши.

С докембрием связано около 70 % мировых запасов рудных полезных ископаемых, среди которых важнейшими являются золото, никель, медь, алмазы, железо, хром, уран, редкие элементы и ряд других, а также нерудные, в частности, слюда и хризотил-асбест. В связи с неравномерной, а в ряде случаев недостаточной изученностью докембрий и в дальнейшем остается важнейшим потенциальным источником минерального сырья. Этим объясняется повышенный интерес к геологии докембрия. Большое внимание изучению докембрия традиционно

уделяется в странах Скандинавии, в Канаде, США, Австралии, Южной Африке, России, а также — в Латинской Америке, Индии и Китае. Вопросы геологии и геохронологии докембрия периодически рассматриваются специальной секцией Международного геологического конгресса, а также докембрийской секцией международной программы «Геологическая корреляция» и Международным советом по изучению геологии и металлогении архея и раннего протерозоя. Международный авторский коллектив провел работу по созданию региональной серии «Докембрий».

В структурно-тектоническом районировании образований докембрия, согласно Ч. Б. Борукаеву [1977, 1985; Синицын, 1990], различаются три методологических подхода: 1) по возрасту завершающей складчатости; 2) по структурно-вещественным признакам минеральных масс; 3) по типам тектонического развития (или режимам).

Районирование по возрасту завершающей (главной) складчатости подразумевает разделение поверхности на зоны, которые в результате складчатости орогенеза определенного этапа утрачивают свойства геосинклиналей и превращаются в платформы. Естественным выводом из этой концепции являются представления о глобальных эпохах диастрофизма, сменяющихся во времени этапах седиментации (анорогенных) и этапах складчатости (орогенных), учение о тектоно-магматических циклах и т. д. Методика была разработана и успешно применяется при тектоническом районировании фанерозойских областей. Однако применение ее к докембрию сталкивается со значительными трудностями, так как в подавляющем большинстве случаев наблюдается многофазное сочетание складчатостей самого разнообразного возраста. Более того, сомнению подвергается само существование геосинклиналей в докембрии, а значит, и сама основа данного метода. Наконец, районирование по возрасту рвущих наиболее поздних гранитов, вследствие широкого развития в докембрии анорогенных магматических серий, также оказывается неплодотворным. Таким образом, данный метод тектонического районирования применительно к докембрию не может решать поставленных задач. Вместе с тем невозможно отрицать существование в докембрии крупных циклов, отделяющихся друг от друга не эпохами диастрофизма, как это предполагалось ранее. Их различие гораздо глубже, и оно состоит в смене типов развития

земной коры, получивших отражение в характере формировавшихся на каждом таком этапе типов структур.

Районирование по структурно-вещественным признакам минеральных масс разрабатывалось Ю. Н. Косыгиным (1969, 1974) и Ч. Б. Борукаевым (1969, 1977). В основе такого районирования лежит выделение крупных геологических тел, которые характеризуются фиксированными в классификации значениями дислоцированности и вещественного состава. Система признаков, разработанная для данной классификации, включает в себя: а) степень дислоцированности (складчатые и нескладчатые комплексы), б) вещественный состав (платформенные и геосинклинальные комплексы), в) возрастную принадлежность комплексов. Классификация геологических комплексов по вещественному составу успешно использована при составлении серии тектонических карт и дала хорошие результаты на площадях, которые были достаточно детально районированы предшественниками на основе других методических приемов (Африка, Северная Америка).

Районирование по типам тектонического развития (режима), по определению Т. Н. Спизарского (1973), подразумевает «выделение в земной коре регионов, характеризующихся определенной структурой». Н. С. Шатский (1963) указывал, что «под тектоническим, или историко-геологическим методом следует понимать..., изучение истории становления геотектонических элементов, выясняя которую сравнительным методом, можно прийти к тем или иным заключениям об этапах развития земной коры в целом». Как правило, образования фанерозоя хорошо районированы данным методом, и свидетельством этому являются многочисленные тектонические карты. Однако его применение для районирования докембрия, длительное время сталкивалось со значительными трудностями. Это обусловлено колоссальной длительностью развития докембрийских тектонических форм, частым взаимным наложением различных форм и, вероятно, в первую очередь большим своеобразием тектонических форм докембрия. Значительный прогресс в этой области был достигнут после введения в тектонике докембрия понятий «архейские кратоны» и «докембрийские подвижные пояса», впервые введенных геологами, изучавшими Африку, а позднее получивших широкое распространение при изучении других регионов.

При изучении докембрийских образований на протяжении длительного периода отмечается возрастающий интерес

к геологии специфических комплексов раннего докембрия, в частности архейских зеленокаменных поясов, выделяемых на Балтийском, Украинском и Алданском щитах.

Изучение докембрийских образований представляет собой сложную проблему и требует однозначного применения основных терминов и понятий. Ниже приводится их перечень.

Щитом называется докембрийская провинция континентального или субконтинентального масштаба, в целом соответствующая крупной положительной форме рельефа и на большей площади лишенная платформенных осадков.

Кратонами (архейскими) называются достаточно крупные устойчивые ядра щитов, сложенные комплексом гранитоидов и заключенными в них зеленокаменными поясами. Кратоны являются стабильными массами относительно окружающих их подвижных поясов и не подвергались собственным крупным тектоно-термальным событиям позже 2800 млн лет. Главной чертой архейских кратонов является их консолидация до протерозоя. Основные признаки консолидации — наличие перикратонных покровных отложений позднего архея—раннего протерозоя, а также переработка и срезание раннедокембрийских структур кратонов протерозойскими подвижными поясами.

Зеленокаменные пояса (прогибы) представляют собой изолированные узкие протяженные троговые структуры различных размеров, образующие скопления в пределах кратонов и выполненные достаточно специфичной ассоциацией метавулканитов и метаосадков. Обычно существенно преобладают зеленокаменно-перерожденные эффузивы (толеиты) и часто присутствуют ультраосновные эффузивы типа коматиитов. Характерной чертой является сравнительно низкий метаморфизм в пределах большей части поясов и крутое, обычно моноклиналное залегание пород. Возраст зеленокаменных поясов в случае отсутствия процессов омоложения на большинстве щитов определяется в 3600—3000 млн лет. С архейскими зеленокаменными прогибами связаны многочисленные месторождения золота, никеля, хрома и ряда других полезных ископаемых.

Подвижные пояса являются наиболее молодыми докембрийскими структурами щитов и в своей совокупности окружают древние кратоны. Для них характерны зональный метаморфизм высоких ступеней в виде линейных метаморфических поясов, широкие проявления гранитизации и напряженная дизъюнктивная тектоника. Они имеют сложное строение и

длительную историю, часто более 1000 млн лет в интервале 2800—1800 млн лет, включая несколько отчетливых тектоно-термальных эпох. После стабилизации подвижные пояса вместе с кратонами образуют единое целое — **докембрийские щиты** и слагают фундамент венд-палеозойских платформ.

Перикратонные бассейны. Синхронно с развитием подвижных поясов на многих архейских кратонах часто в виде прилегающих (перикратонных) мелководных заливов в интервале 2800—2400 млн лет (а иногда и позднее — до 1800 млн лет) возникли и развивались бассейны седиментации (мульды), выполнявшиеся теми же осадками и вулканитами, что и подвижные пояса (аркозы, сланцы, конгломераты, лавы кислого и основного состава). Однако, в отличие от подвижных поясов, где данные образования претерпели в дальнейшем динамометаморфизм и оказались превращены в гнейсо-сланцевые и гранулитовые комплексы, перикратонные мульды, находясь в стабильных геодинамических условиях, обычно метаморфизованы слабо или не метаморфизованы и залегают спокойно, почти горизонтально.

Проторифтогенные структуры. Их размеры и значение, безусловно, несколько меньше, чем таковые подвижных поясов и перикратонных бассейнов, в составе которых они часто и описываются. Однако имеется одна особенность проторифтогенных структур, которая заставляет уделять им особое внимание и обособлять их от других структур. Она состоит в том, что их появление знаменует первые проявления рифтовой тектоники в полном соответствии рифтогенезу фанерозоя. Если для зеленокаменных поясов рифтовая природа только предполагается или экстраполируется, то в данном случае форма и тип тектонических структур сомнений не вызывает — проторифтогенные структуры представляют собой протяженные (до нескольких сотен километров) ступенчатые грабены, часто с коленообразными или кулисными сателлитами и мощным (до 2000—3000 м) существенно вулканогенным или терригенно-вулканогенным выполнением. Структурное положение проторифтогенных структур чрезвычайно характерно: обычно они возникают в краях кратонов, при этом часто пространственно совмещены, точнее наложены, на структуры перикратонных бассейнов. В этих случаях форма проторифтогенов, точнее их длинная ось, обычно конформна с удлинением смежного подвижного пояса. Типичными представителями проторифтогенных структур

этого типа являются: Главная гряда Ветреного пояса, северное крыло Имандра-Варзугской структуры и Печенгская структура (Балтийский щит). Время возникновения проторифтогенов обычно отвечает интервалу 2400–1800 млн лет иногда до 2800 млн лет.

Реже проторифтогенные структуры встречаются в пределах подвижных поясов, при этом неизменно вблизи с кратонами, и в этих случаях их геометрия обычно конформна с границей подвижного пояса и кратона. Типичными представителями таких проторифтогенов являются структуры Куолаярви-Панаярви и Соданкюля (Балтийский щит).

Возникновение структур рифтового типа подразумевает существование достаточно жесткого фундамента, способного реагировать на возникающие напряжения расколами. Это относится как к кратонам, так и к подвижным поясам. Поэтому появление проторифтогенных структур на площади подвижных поясов может рассматриваться как признак того, что к моменту их заложения подвижный пояс консолидировался и приобрел необходимую жесткость.

Во многих проторифтогенах, кроме вулканогенной составляющей, часто проявлен интрузивный магматизм, иногда с возникновением огромных плутонов (например, комплекс Вайт-вотер-Седбери, Канада). Таким образом, существует непрерывный ряд переходов от собственно проторифтогенных структур к региональным плутонам перикратонных бассейнов типа Бушвелд-Седбери. Вероятно, эндогенные причины их возникновения однотипны или сходны, но в зависимости от конкретных условий проявления они реализуются в виде региональных плутонов, проторифтогенных структур или переходных типов. По аналогии с современными рифтами (Милановский, 1984) наиболее вероятной причиной проторифтогенеза является действие восходящих локальных мантийных струй (плюмажей) с утонением над ними коры, ее растрескиванием и оседанием.

Структура докембрийских образований характеризуется следующими общими закономерностями [70, 192, 193, 210, 212, 213].

Архейские зеленокаменные пояса возникли в виде автономных сравнительно небольших троговых прогибов на маломощной сиалической коре, сложенной комплексом серых гранитоидов. Разломы, определяющие заложение этих прогибов, на

большинстве щитов образовывали достаточно закономерную и, вероятно, первоначально линейную систему. Позднее эта линейность была нарушена в результате неоднократного сжатия и привела к формированию характерных изогнутых форм. Зеленокаменные прогибы выполнены преимущественно вулканогенным комплексом, подразделяемым на нижнюю и верхнюю группы. Нижняя, инициальная, группа сложена ультраосновными лавами с подчиненным количеством маломощных хемогенных осадочных пород. Во многих районах мира эти гипербазиты до настоящего времени картируются как интрузии. Верхняя, зеленокаменная, группа сложена базальтами, андезитами, дацитами, риолитами с подчиненным количеством хемогенных и классических осадков. Она представляет собой последовательное развитие вулканизма от основного до кислого (так называемый бимодальный вулканизм) и обычно составляет основную группу разрезом зеленокаменных прогибов. В большинстве зеленокаменных поясов на вулканитах несогласно залегает осадочная группа, соответствующая заключительной фазе развития трогов. Основные структуры зеленокаменных поясов обусловлены вертикальными движениями, вызванными растяжением и последующими сжатиями. Метаморфизм в пределах зеленокаменных поясов незначителен и, если они не подверглись более поздним влияниям, редко бывает выше зеленосланцевой фации, а проявления гранитизации отсутствуют. Интервал геологического времени, для которого характерно возникновение и развитие зеленокаменных поясов, по-видимому, отвечает периоду 3600—3000 млн лет. Их уникальность состоит в примитивизме вулканогенного и осадочного процессов, и позднее в истории Земли такие условия полностью не воспроизводились вследствие перманентно протекавшего утолщения коры.

Докембрийские подвижные пояса являются ведущим типом развития коры в следующем огромном интервале времени — 2800—1800 млн лет. Они резко отличны от зеленокаменных поясов и являются структурами иного, более крупного порядка. Подвижные пояса представляют собой обширные линейные зоны интенсивно метаморфизованных гнейсовых комплексов, испытавшие сложную неоднократную складчатость, дизъюнктивную тектонику и гранитизацию. Представляется, что в большинстве поясов основным процессом было дробление («торошение») и переработка архейского основания. Собственные

нижнепротерозойские осадки в подвижных поясах могут вообще отсутствовать или участвовать в качестве покрова с самыми широкими колебаниями мощностей и латерального распределения. Массовые проявления гранитизации объясняются калиевым метасоматозом, обусловленным мобилизацией калия из перерабатывавшегося основания под влиянием резко усиленного теплового потока и восходящих ювенильных струй летучих. Важную роль в формировании структур подвижных поясов сыграло пластическое течение, обусловленное теми же факторами, связанными в свою очередь с конвективными ячейками в мантии.

Все указанные особенности не позволяют рассматривать докембрийские подвижные пояса как корни древних орогенов или докембрийские геосинклинали. Очевидно, что нижнепротерозойские подвижные пояса — это особый стиль тектонического развития Земли, ранее и позднее не воспроизводившийся и явно отличный от геосинклинального типа развития, характерного для фанерозоя, хотя в позднем докембрии (1500–800 млн лет) в их эволюции начинают проявляться некоторые черты, допускающие сопоставления с моделями последокембрийской тектоники плит. Это выдвигает еще один вопрос, а именно — о временных рубежах архея и нижнего протерозоя. Учитывая, что зеленокаменные пояса (3700–3000 млн лет) и докембрийские подвижные пояса (2800–1800 млн лет) отвечали особым периодам развития Земли, границу архея и нижнего протерозоя следует проводить по рубежу 2800 млн лет, а верхнюю границу нижнего протерозоя по рубежу 1800 млн лет.

Приводимая ниже классификация геологических обстановок областей докембрийской складчатости основана на принципах формационного анализа. При этом под рудной формацией понимается характерный парагенетический тип месторождений полезных ископаемых с характерным парагенезисом пород и руд, находящихся в определенных пространственно-временных соотношениях (Рундквист, 1986). Соответственно под рудоносной (продуктивной) геологической формацией понимается геологическая формация со специфическими чертами состава и строения, которая содержит то или иное оруденение в качестве составной части. В качестве основополагающего принципа структурно-тектонического районирования докембрийских щитов принято их подразделение на архейские кратоны и протерозойские подвижные пояса. В целом выделяются четыре группы формаций: архейских

кратонов, перикратонных мульд, подвижных поясов и проторифтогенных структур.

Первая группа (*группа архейских кратонов*) представлена двумя геологическими формациями: а) комплексом тоналитовых «серых гнейсов» и б) архейскими зеленокаменными поясами. Серые гнейсы всех кратонов практически безрудны. В некоторых случаях под воздействием протерозойской переработки в них развиваются только керамические пегматиты. Архейские зеленокаменные пояса и, соответственно, архейские кратоны — одна из богатейших формаций всех геологических времен. Они проявляют широкий спектр связанных с ними полезных ископаемых и вместе с тем большую устойчивость свойственной им металлогенической ассоциации. Для архейских зеленокаменных поясов характерны месторождения золото-(сульфидно)-кварцевой рудной формации, сульфидной медно-никелевой формации (родезийского типа), железистых кварцитов, связанных с полосчатой железорудной формацией (типа Исуа). К другим металлическим полезным ископаемым, связанным с зеленокаменными поясами, но имеющим подчиненное значение, относятся серный колчедан (пирит и пирротин), вольфрам (в виде шеелита), сурьма (в форме стибнита и в самородной форме), ванадий (в титаномагнетите), молибден (молибденит) и мышьяк (арсенопирит). С зеленокаменными поясами связаны также месторождения хромитовой рудной формации (родезийского типа), железорудно-медной (типа Салобо), формации нерудных полезных ископаемых, формации редкометалльных пегматитов, формации алмазов и формация прочих полезных ископаемых. С гранитоидами и пегматитами, секущими породы зеленокаменных прогибов, связаны также такие важные полезные ископаемые как олово (в виде касситерита), литий, тантал и ниобий.

Месторождения золото-(сульфидно)-кварцевой рудной формации известны в Африке (в Каапвальском, Родезийском и Танганьикском кратонах), в Западной Австралии (в кратоне Пилбара и блоке Йилгарн), в Индии (в кратоне Карнатака), а также на Сино-Корейском щите, в Бразилии (в кратонах Шингу, Серринья и Риу-дас-Вельяс) и Гвиане.

Месторождения сульфидной медно-никелевой формации известны в Родезийском кратоне и в Западной Австралии.

Наиболее известными месторождениями хромитовой рудной формации являются месторождения лучших в мире малоглиноземистых меаллургических хромитов Родезийского щита.

Месторождения полосчатой железорудной формации распространены в Каапвальском и Танганьикском кратонах, а также в африканских кратонах Касаи, Либерийском и Регибат, в южно-американских кратонах (Риу-дас-Вельяс, Серринья, Ремансо, Шингу, Иматака). На Восточно-Европейской платформе месторождения этой формации представлены на Балтийском и Украинском щитах. В Кольском кратоне формация имеет мощное развитие в Приимандровском районе и в зеленокаменном поясе Сюд-Варангера. В центральной части Карельского кратона месторождения формации представлены Костомукшской группой. На Сибирской платформе месторождения формации проявлены во всех троговых структурах (например, Чаро-Токкинская группа).

Уникальная железорудно-медная формация известна на бразильском щите Гуапоре (кратон Шингу).

Устойчивый комплекс нерудных полезных ископаемых зеленокаменных поясов представлен хризотил-асбестом, магнетитом, тальком, баритом.

Единственным промышленным коренным источником алмазов являются кимберлиты. Анализ пространственного расположения алмазоносных и неалмазоносных кимберлитов на примере африканских алмазоносных провинций (Южно-Африканской, Либерийской и Танганьикской) привел к установлению эмпирической закономерности: промышленно алмазоносные кимберлиты приурочены только к участкам пересечения архейских кратонов региональными кимберлитоконтролирующими структурами (правило Т. Клиффорда). Эти представления подтверждаются данными по алмазоносности Якутской (Восточно-Сибирской) провинции: три алмазоносных кимберлитовых района приурочены к кратонам: Малоботуобинский к Вилюйскому, Далдыно-Алакитский и Мунский — к Оленекскому; шесть неалмазоносных кимберлитовых районов и одна провинция приходятся на площади подвижных поясов. Правило Т. Клиффорда подтверждается также данными по Северо-Австралийской и Восточно-Китайской алмазоносным провинциям.

К числу прочих полезных ископаемых, связанных с архейскими зеленокаменными поясами, относятся порфировые медно-молибденовые руды (кратон Пилбара, Кольский кратон), сурьма и ртуть, сопутствующие орудению золото-сульфидно-кварцевой формации (зеленокаменный пояс Мерчисон

на севере Каапваальского кратона), вольфрам, серебро и мышьяк, редко встречающееся полиметаллическое (медно-свинцово-цинковое) оруденение.

Геологическая формация перикратонных мульд представлена мелководными бассейнами, сформировавшимися по краям архейских кратонов. Эти бассейны имеют терригенно-вулканогенное заполнение за счет материала прилегающих частей кратонов. При благоприятных условиях в них могли возникать и захораниваться осадочные концентрации полезных ископаемых, а их металлогенический облик в значительной степени определяется металлогенией областей сноса. С перикратонными мульдами связаны следующие рудные формации: формация уран-золотоносных конгломератов; формация перикратонных полосчатых железных руд (типа Трансвааль-Хамерсли); формации голубого асбеста; формация перикратонных медистых песчаников (удоканского типа); золото-кварцевая формация плоских жил (типа Пилгримс-Рест); серебряно-кобальт-кальцитовая жильная формация (типа Кобальт).

Максимальные запасы формации уран-золотоносных конгломератов сосредоточены в золото-ураноносных конгломератах системы Доминион-Риф и в уран-золотоносных конгломератах системы Витватерсранд, а также системы Вентерсдорп и Трансвааль.

Месторождения формации перикратонных полосчатых железных руд сосредоточены в железорудных бассейнах Трансвааль, Хамерсли (в южном обрамлении австралийского кратона Пилбара), Дарвар (связанного с перикратонным комплексом индийского кратона Карнатака) и Железного квадрата (на юге бразильского кратона Риу-дас Вельяс).

Все известные месторождения голубого асбеста (представленного крокидолитом, рибекитом, реже родузитом и родохрозитом) связаны с формацией перикратонных железных руд, прежде всего, железорудных бассейнов Трансвааль и Хамерсли.

Медистые песчаники являются одной из важнейших меденосных формаций и широко распространены на всех континентах мира. В Российской Федерации особый интерес представляет уникальный по запасам Кодаро-Удоканский меденосный район, связанный с протерозойским перикратонным комплексом юга Чаро-Олеминского архейского кратона Алданского щита.

Золотоносные малосульфидные кварцевые жилы приурочены к верхней части разреза перикратонного комплекса мульды Ранда в практически горизонтально залегающих породах серии Трансвааль.

Серебряно-кобальт-кальцитовая жильная формация структурно очень близка к предыдущей формации, отличаясь от нее составом металлов и формой жил. Формация приурочена к верхней части разреза гуронского перикратонного комплекса мульды Алгома на южном крае протерозойского кратона Сьюпириор на юге Канадского щита.

Нижнепротерозойские подвижные пояса, возникшие на рубеже около 2800 млн лет, представляют собой гетерогенные полицикличные сооружения, в которых отчетливо различаются в различной степени переработанное архейское гранит-зеленокаменное основание и собственный осадочно-вулканогенный комплекс. Этот комплекс может быть многостадийным, тогда в полициклических поясах каждый более древний осадочно-вулканогенный пояс для последующего является основанием, обычно к этому времени уже метаморфизованным и консолидированным. Собственный осадочный комплекс нижнепротерозойских подвижных поясов, синхронный перикратонным комплексам, формировался за счет разрушения архейских кратонов. Вулканогенная часть комплекса подвижных поясов представлена мощными толщами андезитов и толеитов, а также кислыми вулканитами и коматиитовыми базальтами. С определенными стадиями эволюции подвижных поясов связано появление специфических плутонических комплексов, в частности, габбро-анортозитов и гранитов-рапакиви.

Геологические формации подвижных поясов включают: полосчатую железорудную формацию нижнепротерозойских подвижных поясов (типов Алгома и Сьюпириор); колчеданно-полиметаллическую формацию; сульфидную медно-никелевую формацию; сульфидно-медную формацию (типа Курача); золото-сульфидно-кварцевую формацию (типа Киватин); железорудно-редкоземельно-борную формацию (типа Ляужи); фосфорно-железорудную формацию (тип Кируна); ванадий-(апатит)-титаномагнетитовую формацию (типа Адирондак); формацию щелочных метасоматитов; формацию рудоносных расслоенных основных—ультраосновных массивов подвижных поясов (типа Стиллиуотер).

Осадконакопление в нижнепротерозойских перикратонных мульдах и бассейнах седиментации подвижных поясов происходило синхронно и в близких условиях. Поэтому на стратиграфических уровнях, отвечающих интервалу 2500—2000 млн лет в прибрежных частях бассейнов подвижных поясов произошло накопление мощных железорудных толщ, испытавших в дальнейшем складчатость и метаморфизм. Поэтому большая часть железных руд окисной фации в подвижных поясах превращена в легко обогащающиеся магнетитовые кварциты. В связи с тем, что тектоническая ситуация подвижных поясов в раннем протерозое была более распространена, чем ситуация перикратонных бассейнов, запасы железных руд типов Алгома и Сьюпириор значительно больше запасов руд типа Рансвааль-Хамерсли. К полосчатой железорудной формации нижнепротерозойских подвижных поясов относятся провинция Сьюпириор, пояс Саус-Пасс (Вайоминг), Криворожский бассейн, бассейн Курской магнитной аномалии, бразильские бассейны Минас-Жейрас и Каражас, комплекс Эбурнейского подвижного пояса Западной Африки — тип Алгома; бассейн Мичиган-Миннесота — тип Сьюпириор; Лабрадорский бассейн; бассейн Набберу подвижного пояса Черчилл в Западной Австралии.

Крайне велика распространенность колчеданно-полиметаллического оруденения в подвижных поясах с достаточно полно проявленным вулканогенным комплексом в интервале 2800—2000 млн лет и моложе. Наиболее значительные вариации состава характерны для среднепротерозойских и рифейских месторождений. Наиболее типичные месторождения известны в рудном поле Маунт-Айза, полиметаллическом поясе Раджастана, рудном поле пояса Ломагунди, поясе Намакваленд-Наталь, Холоднинском рудном поле, Главном рудном поясе Финляндии, в полиметаллической провинции Южной Манитобы.

Сульфидная медно-никелевая формация представлена Ботсванским типом и типом Абитиби.

Сульфидно-медная формация известна только в связи с мелкими интрузиями основного—ультраосновного состава в бразильском штате Баия в верхнем течении р. Курача в пределах щита Сан-Франциску.

Киватинский подвижный пояс, вмещающий месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации, слагает значительную площадь южной части Канадского щита.

Железородно-редкоземельно-борная формация распространена в северо-восточной части Сино-Корейского щита в составе протерозойского подвижного пояса Ляохэ.

Сравнительно редкая фосфорно-железородная формация известна практически в одном рудном районе в западной части Svecofennского подвижного пояса на территории Восточной Швеции.

Одной из характерных особенностей протерозойских подвижных поясов всех континентов являются обширные региональные массивы анортозитов на стыке поясов с кратонами. В качестве примеров могут быть приведены Адирондакский комплекс пояса Гренвил на Канадском щите, Джугджурский комплекс Джугджуро-Станового подвижного пояса и анортозиты Анобарского щита Восточно-Сибирской платформы, анортозиты Охотского массива на контакте с Верхояно-Чукотской подвижной зоной, анортозиты Беломорского подвижного пояса на контакте с Кольским кратоном, анортозиты на контакте Кольского кратона с Мурманским подвижным поясом и многие другие. В их пределах распространены месторождения ванадий-(апатит)-титаномагнетитовой формации.

Протерозойские подвижные пояса после консолидации, преимущественно в среднем протерозое и позднее, испытали интенсивные дизъюнктивные нарушения, сопровождавшиеся дислокационным метаморфизмом. В результате гидротермальной деятельности главным образом натриево-углекислых растворов, вдоль возникших тектонических зон во многих районах произошло формирование щелочных метасоматитов в основном альбититов, несущих разнообразную рудную составляющую.

Во многих подвижных поясах, часто на стыке с кратонами, реже в их осевых частях, известны крупные расслоенные массивы основного—ультраосновного состава, с которыми обычно связаны месторождения хромитов, платиноидов и сульфидного никеля.

Геологические **формации проторифтогенных структур** по времени возникновения и развития синхронны перикратонным бассейнам и частично подвижным поясам. Они знаменуют появление достаточно консолидированных участков коры. Проторифтогенные структуры тектоно-вулканического типа на фундаменте архейских кратонов и нижнепротерозойских подвижных поясов существенно различаются: на архейских

кратонах они имеют практически ненарушенное залегание, неметаморфизованы и безрудны; на нижнепротерозойских подвижных поясах породы значительно дислоцированы, метаморфизованы в фации зеленых сланцев и несут значительное золото-сульфидно-кварцевое и сульфидно-никелевое оруденение (пример — пояс Норсмен-Вилуна блока Йилгарн). К проторифтогенным структурам тектоно-плутонического типа относятся позднедокембрийские расслоенные интрузии базит-ультрабазитов и региональные дайки, несущие своеобразное оруденение, выделяемое в формацию типа Бушвельд-Великая дайка.

2.3. Рудоносные площади областей развития платформенного чехла

Платформы, как и складчатые системы, относятся к основным структурам континентов. Платформенный чехол, сложенный неметаморфизованными осадочными и осадочно-вулканогенными образованиями, занимает огромную территорию, составляющую более половины Российской Федерации. Платформенный чехол имеет многоярусное строение, возникшее как результат полициклического его развития. Он принадлежит к древним и молодым платформам. К первым относятся Восточно-Европейская (ВЕП) и Сибирская (СП), ко вторым — Западно-Сибирская (ЗСП) и Скифская (Ск) платформы. Предыстория формирования осадочных бассейнов чехла древних платформ связана с зонами нижнепротерозойских трогов. Чехол древних платформ начал формироваться после завершения кратонизации с рифтогенной (авлакогенной) стадии развития. Первые рифтовые структуры на ВЕП и СП известны с раннего рифея. Они выполнены преимущественно осадочными породами: на ВЕП континентальными обломочными, а на СП мелководно-морскими терригенно-карбонатными и карбонатными с подчиненными вулканитами [22, 23].

Решающее значение в рифее имели глубинные разломы рифтогенных систем, обусловившие расчленение на блоки кратона и определившие границы древних платформ. По эндогенной активности и масштабам магматических образований СП значительно превосходит ВЕП. В целом в развитии платформенного чехла (как древних, так и молодых платформ) господствуют экзогенные процессы.

Роль разломов в чехле является определяющей при формировании гидротермальных и стратиформных месторождений (Cu, Fe, Ni, Ba, Pb, Zn, кимберлиты, исландский шпат, целестин и др.). Мантийные процессы проявлены в зонах растяжения земной коры, наследующих более древние рифтогенные линейные структуры (Николаев, 2004). В плитном режиме выделяются тектонические циклы, этапы развития, в которых ряды геологических (в том числе рудных) формаций повторяются [61, 160]. Плитный режим охватывает огромные пространства. Литогенез, отражающийся в формационных типах, идентичен в чехлах всех платформ. Тем не менее, чехол каждой из платформ характеризуется своими особенностями. Так, для СП характерно преобладание в чехле песчано-доломитовых, соленосных сульфатно-карбонатных, туфогенно-песчаных, базальтоидных формаций. Для ВЕП специфическими являются формации синих глин, писчего мела, мергельно-глинистые. В чехле молодых платформ — терригенные угленосные, битуминозная аргиллитовая (баженовская), опоковая и диатомитовая (ЗСП), а также терригенно-карбонатные и мергельно-меловые формации (Ск).

Полицикличность развития платформенного чехла прослеживается в разрезе как повторяемость стадий развития, сопоставимых на всех платформах. В развитии чехла выделяются следующие структурные ярусы: рифейский, нижневендский, верхневендско-нижнеордовикский, среднеордовикско-нижнекарбонный, позднепалеозойско-раннемезозойский (C_1-T_1), мезозойский и кайнозойский. Чехол молодых платформ слагают мезозойский и кайнозойский структурные ярусы. Чехол древних платформ представлен всеми упомянутыми выше структурными ярусами. Правда, на ВЕП и СП их возрастные границы не всегда совпадают (рис. 2.3.1)*. Активизация в чехлах различных платформ также проявлена не синхронно.

Нельзя рассматривать платформы как пассивные элементы земной коры, сложенные ненарушенными породами. Краевые части платформ (и не только краевые) обладают большой подвижностью. Как кристаллический фундамент, так и осадочно-вулканогенный чехол в своем развитии испытывают значительные вертикальные и горизонтальные подвижки [61]. На СП имеются складчато-надвиговые системы: рифейские — вдоль западных границ платформы Енисейская и Туруханская,

*Все рисунки см. в папке «Рисунки».

вдоль ее юго-восточных границ Байкало-Патомская, мезозойские — Таймырская на севере и Верхоянская вдоль восточных ее границ. Известны и зоны дислокаций не на границах платформ, например, Непские складки (СП), Атлымские дислокации (ЗСП), Карлинские дислокации, Жигулевские Горы (ВЕП) и другие.

Строение каждого структурного яруса характеризуют ряды формаций. Трансгрессивную стадию развития обычно слагают терригенные (трансгрессивного строения) формации (алевритопесчаная, с которой ассоциируют в чехле проявления фосфоритов и россыпи титановые, титан-циркониевые; известняково-глинисто-песчаная сероцветная, с которой связаны месторождения марганца, глинистая диктионемовая (битуминозно-глинистая), к которой приурочены горючие сланцы; железоносные алевритопесчаная красноцветная и кварцево-конгломератовая).

Инундационная стадия в разрезе обычно представлена терригенно-карбонатными, карбонатными, глинистыми (аргиллитовыми) формациями, с которыми связаны месторождения железа (оолитовые руды), горючие сланцы (известняково-кукерситовая формация ВЕП), свинцово-цинковое оруденение (карбонатные формации ордовика—силура Балтийско-Московской синеклизы); флюорит (известняковая формация среднего карбона ВЕП). К этой же стадии развития чехла принадлежит рифовая, меловая кремнисто-карбонатная (с фосфоритами) (ВЕП, СП), опоковая и диатомитовая формации (ЗСП).

Регрессивная стадия развития в формационном отношении отличается наибольшим разнообразием, как по составу слагающих ее образований, так и по набору полезных ископаемых: угленосные, молассоидные, вулканогенно-осадочные, сульфатно-карбонатные, галогенные, галитовые формации. С тремя последними типами связаны каменные соли (в том числе калийные), бор, стронций и сера (ВЕП, СП). К известняково-доломитовой, рифовой доманиковой формациям приурочены месторождения молибдена—ванадия (ВЕП). С красноцветными терригенными и карбонатно-терригенными формациями связаны месторождения и проявления медистых песчаников и сланцев (на ВЕП — D_1, P_1, P_2 , а на СП — $R_3, V-\epsilon_1, \epsilon_2-O_1$).

Большие площади занимают позднепалеозойские (С, Р) и мезозойские (J, K_1, K_2) угленосные формации, на которые сейчас обращается большое внимание, т. к. кроме каменных и бурых углей они содержат большие концентрации Ga, Ge,

а нередко также Au, Ag, U и других элементов. К терригенным формациям этой стадии приурочены россыпи Ti, Ti-Zr, Au, ЭПГ, алмазов, TR.

Эмерсивная стадия развития представлена вулканогенными, плутогенными и формациями кор выветривания. К этой группе формаций относятся следующие: базальт-долеритовая (трапшовая), туфовая базальт-долеритовая, с которыми связаны исландский шпат, барий, стронций, агат, медь; оливинит-гарцбургитовая, долеритовая, которые вмещают Cu-Ni, Au, Ag, ЭПГ, полиметаллы, железорудные, титано-магнетитовые и месторождения графита; кимберлитовая — алмазоносная, содержит также редкоземельные элементы, иногда Au и ЭПГ. К этой же стадии развития относятся элювиальные формации и продукты их переноса: элювиальные бокситоносная и железоносная (в том числе латеритные и переотложенные), гидрослюдисто-каолинитовая и металлоносные глинисто-песчаные (Ti-Zr-J, K, P, N, Q в чехле ВЕП и Ск; Au — J₂, P_{1,3}, Q в чехле ВЕП, СП, Ск, ЗСП). Металлогеническая характеристика платформенного чехла приведена в табл. 2.3.1—2.3.4. Наиболее продуктивен на СП верхнепалеозойско-нижнетриасовый этап развития. На ВЕП металлогеническая специализация (экзогенная) более разнообразно представлена, начиная с девонского этапа развития — D, Pz₃—T₁, J—K, P—N. Молодые (Mz и Kz) этапы развития СП представлены рудными формациями эмерсивной (конечной) стадии развития, куда попадают как кимберлиты, так и формации кор выветривания (элювиальные и карстово-эрозионные бокситоносные, элювиальные и осадочные железоносные, металлоносные россыпи). Четко проявлена асимметрия во времени образования фосфоритов на СП (древние этапы) и ВЕП (мезозой). В течение этих эпох фосфоритообразование было очень распространенным феноменом на СП и ВЕП, но образование месторождений происходило в узких временных интервалах [26, 86].

Бокситовая формация генетически связана с корами выветривания. В геологической истории СП известны 12 эпох корообразования, но бокситы связаны с позднерифейской (Боксоносное месторождение), раннекаменноугольной, меловой и палеогеновой. На ВЕП бокситы имеются в девоне (Тиман) и раннем карбоне (месторождения Северо-Онежского, Тихвинского и Южно-Тиманского бассейнов) (Кириков, Кочин, 1992; Геол. Строение — т. 1, 2006).

При анализе геологических обстановок в областях развития платформенного чехла необходимо учитывать палеотектонические аспекты, определяющие региональную структурно-металлогеническую зональность (СМЗ). Н. С. Малич выделяет пять генетических типов СМЗ [25].

1. Хатакратонный тип СМЗ отражает обстановки прогиба и растяжения земной коры с развитием морских и лагунных эпиконтинентальных бассейнов. В этих условиях образуются фосфориты, железные, марганцевые, свинцово-цинковые руды, соли (в том числе калийные) с привнесом вдоль долгоживущих разломов мантийного вещества. Хатакратонные СМЗ широко развиты в $V-Pz_1$ и Pz_2 этапах развития в трансгрессивной, инундационной и регрессивной стадиях.

2. Перикратонные СМЗ отражают пассивное тектоническое состояние кратона, приурочены к крупной линейной отрицательной структуре и связаны со смежной подвижной зоной. Ее слагают редуцированные ряды формаций трансгрессивной и инундационной стадий, переходные от мелководных к глубоководным. В этих условиях происходит накопление полиметаллов и фосфоритов.

3. Приорогенные СМЗ отражают процессы вдоль смежных сводовых поднятий или орогенов и контролируются линейными отрицательными асимметричными структурами, образующимися на окраине платформы. Широко развиты аллохтонные формации, в том числе красноцветные молассоидные, достигающие мощности до 3 км. Разломы приводят к постдиагенетическим изменениям угленосных формаций и концентрации меди в стратиформных месторождениях. Так, в Западно-Тунгусской СМЗ метаморфизм углей связан с развитием сводовых поднятий.

4. Филократонные СМЗ приурочены к крупным положительным тектоническим структурам, наиболее стабильным блокам земной коры, которые формируются в течение одного или нескольких этапов развития платформенного чехла. Их субстрат слагают формации фундамента и структурных ярусов чехла. В течение всего этапа филократоны являются областью корообразования [85, 88]. В строении их участвуют рудоносные щелочно-мафитовые, ультрамафитовые, карбонатитовые формации и формации кор выветривания. С ними связаны эндогенные и гипергенные месторождения полезных ископаемых.

5. Рифтогенные СМЗ приурочены к линейным структурам глубинного происхождения и зонам глубинных разломов. В чехле терригенные и магматогенные формации, связанные с этим типом СМЗ, имеются в рифее, среднем палеозое и позднем палеозое—раннем мезозое. Последние известны на северо-западе СП и в основании платформенного чехла ЗСП.

В настоящее время сложилось новое представление о геологии и металлогении платформ (в том числе платформенного чехла). Геологическая активность платформ долгое время недооценивалась — геологи недостаточно учитывали их эндогенную активность или пытались объяснить ее проявления особенностями седиментогенеза. Сейчас уже доказано, что многие месторождения (например, ролловые месторождения урана) — не осадочные, а инфильтрационно-эндогенные. Не вызывает сомнений связь концентраций цветных и благородных металлов не только с полициклической моделью образования платформ, но и с наличием проницаемых зон и флюидных потоков из глубин литосферы и мантии. С этой точки зрения большой интерес представляют находки в чехле ВЕП и СП блочных метасоматитов, с которыми связаны полиметаллы, платиноиды, золото, бокситы, алмазы [65, 66, 67].

Любая осадочная порода — есть результат многочисленных последовательно сменяющихся процессов метасоматоза, протекающих с самых первых этапов становления осадка и до стадий метаморфизма включительно [Пустовалов, 1956]. Если порода сохраняет уникальную достоверную информацию об условиях седиментогенеза, она относится к классу осадочных. Но в случае полной замены первоначальных структурных и (или) вещественных характеристик исходного осадка она теряет память об экзогенных обстановках и переходит в класс метасоматических пород.

Горные породы, образовавшиеся метасоматическим путем по одним осадочным породам и приобретшие структурное сходство с другими (в том числе осадочными же) породами, мы называем *конвергентными метасоматитами*. Они характерны для флюидопроводных зон в породах платформенного чехла. Именно в этих флюидодинамических структурах осадочные породы зачастую утрачивают изначальные седиментогенные структурно-вещественные свойства и приобретают кардинально новые характеристики. К примеру, пелитовые илы превращаются в породы, имеющие облик кварцевых гравелитов,

конгломератов; слоистые мелкозернистые пески и песчаники в современном залегании становятся похожими на кварцевые брекчии; алевро-глинистые илы, глины и апоглинистые породы превращаются в породы, практически мало отличимые от известняков и мергелей. Карбонатные осадки и известняки, напротив, приобретают состав и облик кварцитовидных песчаников и т. д.

Подобные парадоксальные результаты метасоматоза во флюидопроводных амагматических структурах отмечают многие исследователи (Поспелов, 1973; Царев, 1985; Иванкин, Назарова, 1988; Kolokoltsev, Lisitsina; 1990, Колокольцев, 1997, 1999 и др., Тибилев, 1998, 2006 и др.). П. Ф. Иванкин, много лет изучавший флюидно-метасоматические рудоносные структуры в осадочных комплексах, считает одним из серьезных недостатков изучения таких рудных полей, негативно сказывающимся на эффективности прогнозно-металлогенических построений, рутинный литологический подход, при котором «к осадочным часто относятся псевдоконгломераты, псевдопесчаники и кварциты, ложные горизонтальная и косая слоистость, знаки ряби и др.», и подчеркивает, что «этот сложный и слабо исследованный вопрос требует *специального* рассмотрения» (Иванкин, Назарова, 1988, с. 49).

Более 40 лет назад Г. Л. Поспеловым (1963, 1972, 1973) было доказано существование в природе «блочного метасоматоза». Вскрытые этим исследователем разнообразные механизмы формирования блочных метасоматитов помогают понять причины появления этих своеобразных, трудно диагностируемых новообразований.

В формировании блочных метасоматитов ведущая роль принадлежит блочно-осмотическому механизму, в котором осмотические процессы реализуются за счет мембранных эффектов (Г. Л. Поспелов, 1963, 1973). Известно, что мембранными свойствами в различной мере обладают все фазовые границы и капиллярно-пористые среды за счет фазовых границ. Полупроницаемыми мембранами могут служить коллоиды, тонкодисперсное алюмосиликатное вещество. К примеру, мембрана из глины, пропитанной определенными соединениями меди, способна создать осмотическое давление в сотни атмосфер (Бродский, 1948).

В блочных метасоматитах метасоматические включения могут быть и поли-, и мономинеральными. Последние образуются

в тех случаях, когда мембрана обеспечивает такой отбор компонентов, при котором в блочно-осмотической ячейке образуются мономинеральные массы. Это подтверждает сделанный Г. Л. Поспеловым важный вывод о единой природе блочного метасоматоза и некоторых крупных монокристаллов. Такие кристаллы могут проходить последовательно три стадии развития: «дисперсный кристалл» → мозаичный «блочный» кристалл → монокристалл. В результате образуются кристаллы-футляры и кристаллы-шкурки, иногда достигающие гигантских размеров.

Приведем лишь несколько примеров парагенетической связи месторождений полезных ископаемых с блочными метасоматитами.

Лейкоксеновые руды титана

Уникальное по запасам Ярегское лейкоксеновое месторождение размещено на Южном Тимане, в трогге герцинского палеорифта и в современном структурном плане занимает присводовую зону нефтеносной Ухтинской брахиантиклинали. Геология и минералогия Ярегского месторождения рассматривается в нескольких монографиях (Гернгардт, 1960; Кочетков, 1967; Швецова, 1975; Калюжный, 1982) и многих десятках статей. Большинство исследователей относят Ярегское месторождение к россыпным. Но состав руд, структурно-текстурные особенности вмещающих пород, строение месторождения и всей рудоносной формации настолько своеобразны, что старейший знаток и первооткрыватель месторождения В. А. Калюжный на склоне лет в своей последней монографии признал, что «значительное обогащение экзогенных руд титаном обусловлено водородными и нефть-водородными процессами» (Калюжный, 1978, с. 1), т. е. он первым подверг сомнению россыпную модель образования, по крайней мере, богатых лейкоксеновых руд.

Приурочено оно к средне-верхнедевонской терригенной формации, залегающей с угловым несогласием на рифейских углеродисто-слюдистых сланцах. Средне-верхнедевонская терригенная титаноносная формация, имея максимальную (до 100 м) мощность в своде брахиантиклинали, полностью выклинивается в западном направлении и утоняется (до 40–50 м) в восточном. Формация имеет центробежное строение: кварц-

лейкоксеновые рудные метасоматиты формируют кровлю и подошву, а неизменные и слабо измененные мелко- и тонкозернистые слоистые песчаники, алевролиты и серицит-гидроослюдистые сланцы занимают внутреннюю ее часть.

Основной промышленный пласт («нижний горизонт россыпей» по традиционной терминологии) вмещает все разведанные запасы лейкоксеновых руд. Он залегает непосредственно на рифейских сланцах и имеет мощность 10–23 м. Содержание TiO_2 в рудах колеблется от 7 до 30–35%. Иногда руды отделены от рифейских образований линзами девонских сланцев, представляющими собой слабо затронутые метасоматическими преобразованиями останцы осадочных пелитов.

Послойные тела мелко- и крупноблочных лейкоксеновых рудных метасоматитов перемежаются со среднедевонскими останцами сланцев и алевролитов. В тех и других обнаруживаются трубчатые и метасоматиты, отнесенные к некарбонатным морфогенетическим аналогам конус-в-конусе. Последние широко развиты и на флангах месторождения.

Руды верхнего пласта («верхнего горизонта россыпей») представлены главным образом серицит-хлорит-лейкоксеновыми мелкоблочными и, реже, крупноблочными метасоматитами. Для этих руд характерны более крупные, в сравнении с нижним пластом, фенокристы лейкоксена (до 2–3 мм). Разведочными скважинами спорадически пересекаются лейкоксеновые руды в верхней половине формации на разном удалении от верхнего пласта. Латеральные соотношения этих вскрываемых скважинами рудных интервалов не совсем ясны. Они объединяются в «средний горизонт россыпей», но учитывая резкую изменчивость мощности и неупорядоченное положение таких руд в разрезе формации, нельзя исключить, что они в ряде случаев составляют изолированные и в ряде случаев секущие тела.

В своде Ухтинской брахиантиклинали непосредственно над месторождением в кернах скважин обнаружены серицит-лейкоксеновые руды среди пашийских глинистых сланцев, залегающих выше туфо-диабазовой формации. В отчетах по среднемасштабной съемке имеются сведения о рудных концентрациях лейкоксена, кроме того, и в более молодых саргаевских песчано-глинистых породах. Высокие концентрации титановых минералов отмечаются также среди позднефранских осадков, т. е. на Южном Тимане титановое оруденение

многоярусное и образует, по меньшей мере, два уровня в среднем девоне и четыре в верхнедевонском разрезе.

Уникальное по запасам, геологической позиции, составу руды, свойствам рудных и безрудных минералов Ярегское гидротермально-метасоматическое месторождение лейкоксеновых руд приурочено к зоне регионального Восточно-Тиманского разлома глубинного заложения. Именно с такими структурами связаны так называемые «амагматические тектоногенные метасоматические формации», детальная структурно-вещественная характеристика и металлогеническая специализация которых содержится в опубликованной литературе (Плюшев и др., 1981 и др.).

Самородное золото

Вероятную генетическую связь самородного золота с конвергентными метасоматитами можно увидеть на месторождениях Витватерсранда. Уникальный ураново-золоторудный район Витватерсранд размещен в южной части Южно-Африканского щита. По запасам золота он не имеет аналогов. Отдавая себе отчет о дискуссионности вопроса о генезисе этих месторождений, мы, тем не менее, приводим данные о возможно гидротермальном их происхождении и связи с блочными метасоматитами, считая, что эти представления должны учитываться при анализе процессов рудообразования на этих и сходных с ними месторождениях, по меньшей мере в качестве рабочей гипотезы.

Распространение рудного района Витватерсранд контролируется сложно построенным грабенем, простирающимся в северо-восточном направлении более чем на 300 км. Ложем Витватерсрандского осадочного бассейна служат граниты архейского возраста. Основная масса золоторудных тел приурочена к мощной осадочной толще супергруппы Витватерсранд, отделенной от ложа бассейна архейской группой Доминион, представленной кристаллическими сланцами, интродуцированными гранитами. Супергруппа Витватерсранд протерозойского возраста сложена преимущественно кварцитами, сланцами с прослоями конгломератов и магматическими породами основного состава. По литологическим признакам супергруппа делится на две группы: Западнорандскую (нижнюю) мощностью около 4500 м, в которой кварциты преобладают над сланцами,

и Центральнорандскую (верхнюю) мощностью около 2500 м преимущественно сланцевого состава с подчиненным количеством кварцитов. Каждая группа расчленяется на две-три субгруппы, а последние в свою очередь состоят из трех-семи формаций. Золото содержится в конгломератах, которые образуют довольно протяженные пластовые тела мощностью от первых сантиметров до 2–3 м и называются рифами (Reef).

Самородное золото приурочено к так называемым конгломератам. В связи с генезисом месторождений обсуждаются две группы гипотез: одни исследователи считают их осадочными (россыпными), другие гидротермальными.

В 1930 г. Л. Грэтон (Graton, 1930) довольно убедительно обосновал гидротермальную модель витватерсрандского золота, а приуроченность металла к обломочным породам объяснил тем, что конгломераты являются прекрасными флюидопроводниками. Эта идея в России наиболее последовательно развивалась Ф. П. Кренделевым (1974). Позже А. М. Портнов (1988) высказал предположение о гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда, а в 1993 г. Д. И. Царев (1993), изучив образцы, пришел к выводу о принадлежности витватерсрандских золотоносных конгломератов, к метасоматитам, которые назвал фрагментарными. Чуть позже академик А. Д. Щеглов (1994) после посещения месторождений Витватерсранда и детального изучения привезенной коллекции образцов пришел к заключению о метасоматической, а не кластогенной природе округлых сегрегаций пирита в золотоносных конгломератах Витватерсранда и гидротермальном генезисе золото-урановой минерализации месторождения. По его мнению, кварцевые блоки, традиционно принимаемые за гальки, в действительности являются «псевдогальками».

Наиболее богатые золотом «конгломераты» состоят из округлых и угловатых блоков молочно-белого кварца. Такие руды вмещает Риф Карбон Лидер (Carbon Lider Reef), залегающий почти в основании группы Центрального Ранда.

При структурно-петрографическом изучении золотоносных пластов (рифов) удалось обнаружить не только косвенные, но и прямые признаки их принадлежности к метасоматическим образованиям (Колокольцев, 1999).

Структурно-петрографическое изучение рифа Карбон Лидер позволяет заключить, что характерная для него обломковидная текстура могла возникнуть блочными механизмами

метасоматического преобразования глинисто-сланцев. Блочный метасоматоз, кардинально преобразовывая седиментогенные структурно-вещественные характеристики рудовмещающих осадочных пород, скорее всего и является причиной ошибочных заключений при литолого-фациальном анализе золотоносных протерозойских пород Витватерсранда.

На приведенных выше примерах можно убедиться, что умение отличить блочные метасоматиты от визуально сходных с ними осадочных пород позволяет получить новую информацию о рудоформирующих факторах и разработать более эффективные критерии прогнозирования месторождений.

Вольфрам

Аномально высокие концентрации вольфрама (от $n \cdot 10^{-3}$ до 1 %) известны в терригенных породах различных частей Восточно-Европейской платформы. В Днепровско-Донецком авлакогене вольфрамоносны каменноугольные песчаники, юрские, меловые и олигоценовые глинисто-алевро-песчаные угленосные толщи. В Прибалтийской структуре отмечается вольфрамоносность докембрийских песчано-алевролитовых пород, в районе гряды Чернышева высокие концентрации вольфрама отмечаются в пермских углистых породах.

На Среднем Тимане повышенные концентрации вольфрама выявлены вдоль восточного склона Цилемского Камня на площади протяженностью около 100 км при ширине около 10 км (Беспалов и др., 1984). Ашугское проявление находится в пределах одноименного грабена, примыкающего с востока к Цилемской горст-антиклинали.

Вольфрамсодержащие метасоматиты развиты в эйфель-живетской терригенной толще, представленной песчаниками с прослоями алевролитов, аргиллитов. При мощности до 200 м она залегает на рифейских преимущественно карбонатных породах и продуктах их гипергенно-метасоматической переработки — бокситах и боксит-фосфоритовых рудах.

Аномально высокие концентрации вольфрама (до 1 % и более по данным Ухтинской ГРЭ и до 0,7 % по нашим данным) обнаруживаются в песчаниках, алевролитах, аргиллитах. Вольфрамоносные песчаники интенсивно регенерированы и, кроме окатанных и плохоокатанных кварцевых обломков, содержат хорошо ограненные (без следов транспортировки) кристаллы

и друзы водяно-прозрачного кварца. Соединения вольфрама концентрируются в лимонитовых корочках в форме тунгстита (в корочках концентрация WO_3 достигает 3%) и вне видимой связи с ними.

Гипотеза техногенного заражения проб вольфрамом была отклонена на основании геохимических данных по вольфрамовым пробам и резцам буровых коронок. Форма вхождения вольфрама изучалась с помощью микрозондового и фазового химического методов. Фазовый химический анализ выявил наличие тунгститовой, шеелитовой и в меньшем количестве — вольфрамитовой фаз в песчаниках, аргиллитах и углефицированной флоре. На микозонде установлено крайне неравномерное распределение шеелита размерностью 6–30 микрон.

Есть основания полагать, что скважинами, пробуренными при поисках бокситов, вскрыты лишь околорудные ореолы и при детализации могут быть обнаружены рудные тела с более высокими концентрациями металла. Учитывая характер пространственного размещения вольфрамовых аномалий и степень изученности территории, можно рассчитывать на обнаружение крупных по запасам вольфраморудных тел. Важнейшей задачей является технологическое исследование вольфраморудного объекта по керновым пробам.

2.4. Площади развития рудоносных гипергенных образований

Зона гипергенеза — приповерхностная часть земной коры, в которой под действием экзогенных и эндогенных процессов происходит перераспределение вещества и резкое изменение состава и типов горных пород [115, 116, 117]. Эту приповерхностную часть земной коры (зону гипергенеза) характеризует формирование комплекса горных пород, резко отличающихся от вулканогенно-осадочных, магматических и метаморфических. По А. Е. Ферсману, зона гипергенеза — это «продукт сложной деятельной геологической истории обмена веществ и перегруппировки элементов между гранитной и базальтовой геосферами, с одной стороны, и атмосферой и гидросферой — с другой». Таким образом, сам гипергенез представляет собой «весь комплекс химических, био- и физико-химических явлений, которые протекают на границе между атмосферой и твердой земной оболочкой [161].

Важную роль в формировании зоны гипергенеза играет живое вещество (по В. И. Вернадскому). Таким образом, зона гипергенеза это биокосная часть литосферы, где выведенные на поверхность или на дно акваторий горные породы при воздействии как экзогенных, так и эндогенных факторов, стремятся прийти в равновесие с окружающей средой.

С зонами гипергенеза (современными и древними) связаны многие полезные ископаемые: бокситы, железные и марганцевые руды, силикатные никелевые и кобальт-никелевые руды, металлоносные (Au, ЭПГ, Ti, Ti-Zr, Sn, TR, алмазы и др.) россыпи, P, S, B, Sr, Ba и др.

В образовании продуктов гипергенеза участвуют потоки воды трех типов — нисходящие, восходящие и гипергенные. Нисходящие воды — атмосферные, проникающие на глубину. Это воды низкотемпературные, безнапорные, слабо минерализованные, с высокими значениями Eh и pH в пределах 4—9.

Восходящие (гипогенные) — воды, идущие с глубины к поверхности: артезианские, элазионные, гидротермальные. Поступают по тектоническим нарушениям и по контактам пород разного состава. Для них характерны повышенные температура и минерализация, наличие растворенных газов, низкие значения Eh и экстремальные pH (< 4—> 9).

Гипергенные воды возникают путем смешения нисходящих и восходящих вод.

Верхней границей зоны гипергенеза является земная поверхность. Нижняя граница определяется проникновением по разломам, карстам, трещиноватости на глубины десятки, сотни метров, до первых километров воды, кислорода и живых организмов.

Зона гипергенеза геохимически, биогеохимически одна из самых активных составляющих литосферы, что способствует возникновению различных барьеров. Типизация продуктов гипергенеза приведена на рис. 2.4.1. При поверхностном гипергенезе возникают коры выветривания, инфильтрационные коры, рудные шляпы, кепрок, карстовые и флювиальные образования. Особый тип геологических тел образуют астроблемы. Подземный гипергенез определяют экзогенные и эндогенные факторы, хотя контролирует его в значительной мере палеогеографическая обстановка. Среди продуктов подземного гипергенеза можно выделить геологические тела (формации), связанные с продуктами палеоводоносных горизонтов, куда

падают образования зон пластового окисления. С последними связаны месторождения урана [38, 92].

Подводный гипергенез (гальмиролиз) происходит в придонных частях морских бассейнов при взаимодействии с морской водой. Наряду с интенсивным гидролизом алюмосиликатов происходит вынос кальция, сокращение количества кремния, натрия и магния, окисление железа, резкое возрастание содержания калия и частично алюминия.

Кроме указанных типов гипергенеза выделяются термальный гипергенез, образующийся под влиянием проникающих в зону гипергенеза термальных вод (ювенильных, элизионных, артезианских). Этот тип гипергенеза приводит к образованию экзогидротермальных штоков, жил, линз, колонн, гидротермокарстовых тел и гидротермально-метасоматических систем.

Гидротермальные коры известны на многих современных гидротермальных месторождениях. Отчетливо заметна зависимость их состава от климата в период их образования. Б. М. Михайлов [117] предлагает выделять гидротермальные коры аридного и гумидного типа. В России гидротермальные коры, геодермы гидротермальных систем изучены в областях гумидного климата на Камчатке и Курильских островах. Отличительные особенности их следующие:

1) в нижних горизонтах развит монтмориллонит в парагенезе с карбонатами, минералами глинозема и сульфидами Zn, Pb, Cu;

2) в верхней части — каолинит и опал, иногда сохраняется пирит;

3) гидротермальная кора завершается кремнистой (опаловой) зоной;

4) часто в верхних горизонтах — гиббсит.

В областях с аридным климатом в гидротермальной коре преобладают минералы цеолитовой группы и кохолонги, а при наличии в субстрате фосфора и меди — бирюза.

Гидротермокарст — особая разновидность карста, возникающего при растворении карбонатных или сульфатных образований гидротермальными растворами. Гипергенным телом является верхняя часть гидротермокарстовой системы, входящей в зону гипергенеза [117]. Карстовые брекчии относятся к образованиям термального гипергенеза. Они содержат месторождения золота, редких и рассеянных элементов, никеля, алунита, каолинов и др.

В настоящее время известны архейские, протерозойские, палеозойские, мезозойские, палеогеновые и более молодые коры выветривания. Во все этапы корообразования породы претерпевали очень глубокие изменения, проходя в своем превращении последовательные стадии, соответствующие развитию процессов дезинтеграции и гидратации, выщелачивания и гидролиза. Эти стадии [130], характерные для выветривания вообще, находят отражения в разрезе в виде сообществ новообразованных минералов, т.е. в элювиальных породах. Конкретные элювиальные породы как производные различных стадий выветривания занимают в разрезе определенное место, соответствующее литогеохимической зональности преобразования пород. Столь не закономерно их площадное распространение. Поэтому литогеохимические зоны, выделяемые в разрезах кор выветривания, на картах показываются как прослеженные в пространстве (в зависимости от состава исходящих пород, рельефа и размытости) элювиальные горизонты.

Коры выветривания принадлежат к двум типам: площадному и линейному (к последнему — линейные, контактовые, трещинные и смешанные морфологические разновидности).

Продукты выветривания зависят во многом от состава исходных пород, а также от таких факторов как среда, климат (в первую очередь температура и влага). Независимо от состава исходных пород для выветривания в целом свойственно стремление к каолинитизации. Так как эта тенденция постоянно корректируется различными геологическими и физико-географическими факторами, то продукты выветривания обычно достаточно сложны по составу и образуют различные профили (типоморфные разрезы). Профиль выветривания определяет состав конечных продуктов. В основу их выделения положен структурно-вещественный принцип: группа исходных плюс зональный ряд новообразованных пород. В последнее понятие входит и полнота разреза (полный, неполный, сокращенный — по [130]).

Полный профиль на любых породах развивается на приподнятых хорошо дренируемых плато и возвышенностях. В нем имеется полный набор минеральных зон, т. е. наиболее четко проявлена зональность. Например, по серпентинитам это нон-тронито-охристый, а по гранитам — каолинитовый профиль.

Сокращенный профиль образуется в переменновлажных условиях на высоких плато (400—1000 м). Современным аналогом

подобной обстановки многие считают гумидные тропики, где интенсивность выветривания ведет к тому, что одновременно протекают все процессы вплоть до гидролиза. В результате отдельные минеральные ассоциации (например, горизонты хлоритовый, гидрослюдистый, монтмориллонитовый) выпадают из разреза. Как правило, сокращенный профиль характерен для кор линейного морфологического типа. Так, в линейных и контактовых корах выветривания серпентинитов выпадает из разреза нонтронитовый горизонт.

Для коры выветривания с неполным профилем характерно отсутствие (гиббситового, каолинитового, гетитового) горизонтов. Причины две: последующий размыв или незначительная интенсивность выветривания, которое останавливается на определенной, равновесной в данной обстановке стадии. Примером могут служить широко распространенные в пустынях дезинтегрированные (щебнистые) породы. Резкая смена обстановок (тектонический режим, климат) может привести к преобразованию минерального состава. Хороший пример тому — изученные Б. А. Богатыревым коры выветривания Средней Азии, где все минералы группы монтмориллонита замещены гидрослюдой.

Вообще наиболее распространены латеритные, каолинитовые, охристые, реже кремнистые коры выветривания. Линейные коры представлены кремнисто-охристым сокращенным профилем, в котором обычно сильно развиты горизонты с промежуточными (хлориты) и охристыми образованиями. Иногда в них можно наблюдать проявление специфической минерализации (например, непуйт и гарниерит в линейных корах ультраосновных пород). Таким образом, элювиальные породы, слагающие коры выветривания, образуются за счет разложения исходных пород, которые во многом определяют их состав. Рассмотрение элювиальных продуктов, особенно верхних горизонтов разреза, показывает, что выветривание сходных пород происходило в общем в сходном направлении. Это привело к формированию профилей (типоморфных разрезов) кор выветривания, представленных различными наборами последовательно сменяющихся элювиальных горизонтов, т. е. исходная порода (или группа пород) определенного минерального состава образуют типоморфный разрез, который как структурно-вещественная ассоциация в систематике геологических образований соответствует формации коры выветривания. Примером

последних являются латеритная (феррисиаллитовая), каолининовая (сиаллитовая), охристая (ферралитовая), гиббситовая (аллитовая), кремнистая (силицитовая) формации коры выветривания.

В общем виде образование кор выветривания сопровождается гидратация пород субстрата (исходных образований), выносом из них щелочных и щелочноземельных элементов, кремнезема и уменьшением плотности новообразованных элювиальных пород. При корообразовании огромные массы вещества приходят в движение. Убывающие из коры выветривания химические элементы обогащают связанные с элювием осадочные образования (например, металлоносные россыпи), а концентрирующиеся в элювии формируют элювиальные (остаточные) месторождения полезных ископаемых. Таким образом, кора выветривания — один из существенных источников формирования не только гипергенных, но и связанных с ними осадочных полезных ископаемых.

Различные типоморфные разрезы (формации) кор выветривания способствуют формированию различных элювиальных (остаточных) и осадочных месторождений полезных ископаемых. Так, с латеритной формацией кор выветривания связано формирование элювиальных месторождений железа, марганца, силикатных никелевых и никель-кобальтовых руд, бокситов и различных металлоносных (Au, Ti, Ti-Zr и др.) россыпей. С каолининовой формацией связаны прежде всего месторождения каолинов, а также золотоносных и титаноносных россыпей.

Рудные шляпы представляют большой практический интерес. Это — разновидность коры выветривания на богатых сульфидами породах. Для них характерно резкое преобладание среди рудных минералов гидроксидов железа, а в тонкой фракции — галлуазит-каолининовой минеральной ассоциации. При выветривании и окислении, например, медноколчеданных месторождений образуются железные шляпы, при выветривании марганцевых месторождений — марганцевые шляпы, месторождений солей — гипсовые шляпы. Изменяются также месторождения серы, углей и др. Перераспределение рудных элементов приводит к тому, что на непромышленных объектах образуются богатые руды. Для образования месторождений зоны окисления вообще (в том числе рудных шляп) имеют значение те же факторы, что и при формировании других элювиальных месторождений — климат, геоморфологические

и тектонические условия, состав и свойства субстрата и вмещающих пород. Окисление наиболее интенсивно протекает в условиях влажных тропиков (слабее — в умеренном климате), пенепленизированного рельефа, а также проницаемости субстрата и вмещающих образований. Границы зоны окисления обычно не являются ровными, что объясняется трещиноватостью и тектоническими нарушениями, по которым нижняя граница зоны располагается значительно глубже.

Между зоной окисления и первичными неизмененными рудами иногда наблюдается зона вторичного обогащения. Ее образование также связано с гипергенными процессами. Границы зоны определяет уровень застойных грунтовых вод. С зоной вторичного обогащения связаны богатые медные и урановые руды. Например, в меднопорфировом месторождении Алма-лык в зоне вторичного обогащения содержание меди увеличивается в четыре раза и более, а в медистых песчаниках Замбии достигает 30 %.

Зона вторичного обогащения на месторождениях урана наблюдается ниже зоны окисления и выщелачивания. В ней обычно концентрируются урановые черны [80].

Г. А. Беленицкая выделяет также зону флюидного гипергенеза, которая, по ее данным, вместе с флюидным седиментогенезом входит в область флюидного экзогенеза. Зона флюидного гипергенеза образуется в результате взаимодействия восходящего напорного флюидного потока с экзогенными водами. Верхняя ее граница определяется положением напорного фронта флюидного потока. В зоне флюидного гипергенеза преобладают метасоматические процессы между компонентами субстрата и двумя потоками — нисходящим и восходящим.

Этот тип гипергенеза занимает нижнюю часть зоны гипергенеза и завершает разрез гидротермально(флюидно)-метасоматических образований. Типы флюидов определяют рудную специализацию зоны флюидного гипергенеза (Pb-Zn-Cu, F, V, Sr, Mn, S и др.) [116].

К продуктам недалекого переотложения элювиальных и иллювиальных пород относятся карстовые образования и металлоносные россыпи [74].

Карст является продуктом растворения поверхностными и подземными водами горных пород с образованием различного размера и формы пустот. В карбонатных (известняки, доломиты) породах образуется карбонатный карст, в сульфато-

носных (гипсы, ангидриты) — сульфатный карст, в соленосных (сильвинит, галит) — соленосный карст. Известны также глиняный карст, образованный при суффозии поверхностными водами глинистого вещества, силикатный карст — при растворении кремнезема агрессивными водами, термокарст — растворение льда в вечной мерзлоте. Кроме того, существует гидротермокарст, сформированный восходящими (элизионными, гидротермальными) растворами. При появлении подобных вод в зоне гипергенеза разгрузка их происходит в горизонтальной плоскости, но на значительной глубине от земной поверхности. Комплексы пород, выполняющие карстовые пустоты, обычно называют карстовые образования, состав которых прямо связан с составом питающих областей. Оруденение в карстовых полостях формируется, во-первых, за счет накопления в них автохтонного рудосодержащего материала — нерастворимого остатка закарстованных пород, во-вторых, путем привноса в карстовые полости осадков (в том числе элювиальных) с других рудных объектов. Особенно велика роль карста в образовании бокситовых, богатых никелевых (кобальт-никелевых) руд, фосфоритов. Известны месторождения железа, марганца, свинца, цинка, флюорита, сурьмы, ртути, россыпи золота, алмазов, касситерита, шеелита и другие месторождения. Карстовые месторождения обычно отличает высокое качество руд. Например, карстовые месторождения никеля на Урале содержат 1,5–2,5 % Ni, а карстовые фосфориты п-ова Флорида в США — до 40 % P_2O_5 ; известны в СНГ месторождения золота — до 100 г/т металла в контакте доломитов и гранодиоритов над зоной блеклых руд [117].

Широко развиты проявления и месторождения бокситов, возникших в результате переотложения продуктов древних латеритных кор выветривания. Они известны на ЗСП (в Тургае, в бассейне р. Турухан, Чулымо-Енисейской впадине), Южном Урале и других районах.

С глубинным подземным гипергенезом связаны палеоводоносные горизонты. Под водоносным горизонтом понимается пласт горных пород, насыщенных водой (Михайлов, 1995). В зависимости от воздействия и состава вод палеоводоносные горизонты после их «отмирания» превращаются в пласты (протяженные линзы) горных пород различного состава. В разрезе они выглядят как осветленные полосы в красноцветях, окремненных, ожелезненных, омарганцованных, песчано-кар-

бонатных, сульфатных пород среди водоупорных толщ иного состава. Плотность пород палеоводоносных горизонтов превышает плотность вмещающих водоупоров. Многие месторождения урана (например, в юрских палеодолинах южных районов ЗСП) обязаны своим происхождением не только эндогенному фактору, но и этому типу подземного гипергенеза.

Металлоносные россыпи (или россыпные месторождения) образуются в результате перемещения материала разрушающихся при выветривании горных пород и коренных месторождений. Концентрация в россыпях полезных компонентов происходит под воздействием эрозионно-аккумулятивной деятельности рек, озер и морей. Кроме современных и древних (Kz и Mz) россыпей известны еще ископаемые (Pz и PR) россыпи. Выделяют аллювиальные и прибрежно-морские россыпи, а также делювиальные и пролювиальные.

Делювиальные россыпи возникают в результате накопления смытых со склонов водами рыхлых продуктов выветривания (Геол. словарь, т. 1, 1978). Условием для их образования является расчлененный рельеф, где материал перемещается по склону водой, осыпями, селями.

Пролювиальные россыпи образуются в засушливых областях с резким рельефом при выпадении редких, бурных ливней.

Аллювиальные россыпи образуют реки и питающие их ручьи. Источник их образования — делювиальные, ледниковые и иные россыпи. Они отличаются большим разнообразием. Сначала образуются русловые, затем долинные и позднее террасовые. Накопление металла обычно происходит в неровностях русла, в террасах, на склонах долин. Металлоносный пласт состоит из аллювиальных отложений (галечники, пески), лежащих на плотике. Последний представлен коренными или плотными породами.

Дельтовые россыпи образуются в дельтах рек и нередко смыкаются с прибрежными. Как и с прибрежно-морскими (озерными) россыпями, с ними связаны месторождения Ti, Zr, Nb, Ta, Th, TR и др. В зависимости от полезного ископаемого (золото, алмазы и т. п.) однотипные россыпи имеют свои особенности.

В южных районах СП и ЗСП широко распространены элювиальное и связанное с ним россыпное золото. Так, в Алдано-Становой провинции с разрушением нижнемеловой, эоцено-олигоценовой и плиоценовой кор выветривания на юрских и нижнемеловых интрузивных дайках и жильных телах связано

образование крупных аллювиальных золотоносных россыпей. Последние приурочены к линейным неотектоническим грабенам. Примером может служить Куранахская промышленная россыпь в долине р. Бол. Куранах. Мощность пласта 0,5–4 м, ширина до 250 м. Долина золотоносна на всем протяжении. Содержание золота до 200 г/м³, но убывает сверху вниз по долине реки. Возраст этой погребенной россыпи, по данным Е. Б. Хотиной, эоценовый. В основании золотоносного аллювия залегают песчанистые каолиновые глины — продукты переотложения элювия эоцен-олигоценового возраста. Изменяющаяся мощность аллювия связана с закарстованностью карбонатных кембрийских отложений основания долины. Аллювий, заполняющий карстовые полости, содержит промышленные концентрации золота [26].

2.5. Геодинамические обстановки и их рудоносность

Изучение и выделение современных геодинамических обстановок формирования структур и их палеоаналогов способствует наряду с изучением вещественного состава установлению закономерностей размещения полезных ископаемых и целенаправленному минерагеническому картированию

Исходя из принципа актуализма и основываясь на многочисленных современных исследованиях структур земной коры, в ее развитии представляется возможным выделить геодинамические обстановки пяти классов: дивергентных границ плит (зоны растяжения), конвергентных границ плит (зоны сближения), коллизионных и постколлизионных обстановок, коротких систем спрединга (трансформных разломов), внутриплитных обстановок (кратонов). В иерархическом уровне им соответствуют минерагенические таксоны в ранге минерагенических провинций (планетарных минерагенических провинций).

В каждом классе геодинамических обстановок, отвечающих, по В. Е. Хаину, суперциклу Вильсона (около 600 млн лет) в зависимости от состава структурно-вещественных комплексов и геодинамического режима более мелких циклов (Бертрана — 150 млн лет и Штилле — около 30 млн лет), выделяются ряды типовых геодинамических обстановок, в которых сформировались структурно-формационные и отвечающие им по рангу типовые минерагенические зоны:

I. Класс дивергентных границ

1. Межконтинентальные рифты
2. Срединно-океанические хребты (СОХ)
3. Абиссальное плато
4. Пассивные окраины континентов
 - 4.1. Зоны шельфа и континентального склона
 - 4.2. Зоны континентального подножия
5. Авлакогены

II. Класс конвергентных границ

1. Активные континентальные окраины
 - 1.1. Активные континентальные окраины андского и кордильерского типов
 - 1.1.1. Глубоководные желоба
 - 1.1.2. Береговые хребты
 - 1.1.3. Внешние дуги (континентальный склон)
 - 1.1.4. Преддуговые (фронтальные) прогибы
 - 1.1.5. Вулкано-плутонические дуги
 - 1.1.6. Межгорные орогенные прогибы (грабены)
 - 1.1.7. Тыловодужные складчато-надвиговые (магматические) пояса
 - 1.1.8. Тыловые прогибы
 - 1.2. Активные континентальные окраины западнотихоокеанского типа
 - 1.2.1. Энциматические островные дуги
 - 1.2.1.1. Глубоководные желоба
 - 1.2.1.2. Аккреционные призмы
 - 1.2.1.3. Преддуговые прогибы
 - 1.2.1.4. Вулканические дуги
 - 1.2.1.5. Задуговые бассейны
 - 1.2.1.6. Остаточные дуги
 - 1.2.2. Энциалические островные дуги (микроконтиненты)
 - 1.2.2.1. Глубоководные желоба
 - 1.2.2.2. Магматические дуги микроконтинента
 - 1.2.2.3. Задуговые бассейны

III. Класс коллизионных и постколлизионных обстановок

1. Зоны скупивания океанической коры
2. Зоны столкновения островной дуги с континентом
3. Зоны столкновения микроконтинента с континентом
4. Зоны столкновения континентов
5. Зоны постколлизионных обстановок

IV. Класс коротких систем спрединга (трансформных границ)

1. Пул-апарт бассейны

V. Класс внутриплитных обстановок

1. Платформы
 - 1.1. Чехлы платформ
2. Щиты и микроконтиненты
 - 2.1. Гранит-зеленокаменные области
 - 2.2. Гранулитно-гнейсовые пояса
 - 2.3. Докембрийские эпиконтинентальные осадочные бассейны
3. Зоны активизации
 - 3.1. Горячие точки
 - 3.2. Континентальные рифты

В приведенной выше классификации учтена направленность процесса и зональное расположение возникающих латеральных геодинамических обстановок: в классе дивергентных границ — при возникновении океана (в основном симметричное в разные стороны от СОХ), в классе дивергентных границ — при его замыкании (от океана к континенту). В складчатых фанерозойских областях палеоаналоги современных геодинамических обстановок восстанавливаются при изучении структурно-вещественных особенностей сформированных комплексов. В ходе эволюции тектонических структур однотипные геодинамические обстановки могут повторяться во времени, что реально фиксируется в составе разрезов структурных этажей, ярусов. Одним из примеров палеоаналогов может служить Магнитогорско-Мугоджарская островодужная система среднедевонского возраста, состоящая из островных дуг, междугового Магнитогорского и задугового Мугоджарского бассейнов. В позднем девоне островодужный режим сменяется коллизионным. Более ранние ордовикско-силурийские осадочно-вулканогенные отложения, находящиеся сейчас в аллохтонном залегании, сформировались в условиях окраинного моря (Сакмарский бассейн).

I. Класс дивергентных границ

Обстановки межконтинентальных рифтов

Формирование межконтинентальных рифтов отвечает начальной стадии развития океана. Современным тектонотипом традиционно рассматривается рифт Красного моря, который

является единственным примером такого рода на современной поверхности земли. Красноморский рифт начал свое развитие в олигоцене в связи с ротацией Аравии относительно Синая и имеет протяженность около 2000 км при ширине до 500 км.

В осевой части шириной первые десятки километров он сложен океанической корой, обрамленной по краям тонким слоем континентальной коры. Поперечными поднятиями рифт разделен на три основных грабена, заполненных 200-метровым слоем рассолов, под которыми залегают карбонатные породы, а еще ниже — базальты. По составу толеитовые низкокальциевые базальты сходны с базальтами срединно-океанических хребтов. На продолжении поперечных трансформных разломов встречаются тела карбонатитов и реже — кимберлитов.

Красноморский рифт представляет собой раздвиг со скоростью спрединга, по данным Т. И. Фролова и др. (1997), 1,04–1,60 см/год. Система разрывных нарушений в бортовых частях имеет наклон плоскостей вблизи поверхности 60–70° и более пологие в центральных частях рифта.

В гравитационном поле зона с океанической корой выражается контрастной положительной аномалией Буге интенсивностью до 100 мГал. Океаническая кора имеет мощность 10–15 км и плотность 2,85 г/см³. Ниже располагается разуплотненная верхняя мантия (3,25 г/м³ и менее, V_p — 7,2–8,0 км/с). По данным аэромагнитной съемки, осевой зоне соответствует система аномалий, сходных с океаническими.

В срединной части Красноморского рифта на границе пересечения с трансформными разломами концентрируются металлоносные осадки, представляющие собой чередование слоев оксидов и сульфидов и подстилающих их карбонатных отложений. С начальной стадией рифтогенеза в периферийных частях Красного моря связывают формирование мощных толщ эвапоритов (до 3,5 км), главным образом — каменных солей. Выше, в терригенных отложениях, залегают марганцевые и железомарганцевые проявления, а в карбонатных — свинцово-цинковые с баритом.

Геологические формации: группа терригенных и карбонатных формаций, кремнисто-глинистая гемипелагическая, натриевых базальтов, трахириолит-трахибазальтовая, карбонатитовая, кимберлитовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: галопелитовая (железо-марганец-полиметаллическая), рассольная

(марганцевая оксидная), галогенная эвапоритовая (галитовая), терригенно-карбонатная (свинцово-цинковая), углеродистых сланцев (металлоносных сланцев), кремнисто-базальтовая (медно-цинково-колчеданная).

Геодинамические обстановки Срединно-Океанических Хребтов

Срединно-Океанические хребты образуются при раздвижении океанических литосферных плит на стадии континентального рифтогенеза под воздействием мантийных потоков. Структуры СОХ рассматриваются как дивергентные границы литосферных плит, в пределах которых в результате спрединга образуется океаническая кора. Формирование СОХ представляет собой следующий этап развития межконтинентальных рифтовых зон. Примерами СОХ могут служить Срединно-Атлантический, Атлантическо-Индийский, Индийский, Тихоокеанско-Антарктический и ряд других хребтов.

Срединные океанические хребты имеют значительную протяженность (до несколько десятков тысяч километров) и ширину (сотни и тысячи километров). Над абиссальными равнинами они возвышаются на 2–4 км, их гребни не достигают уровня океана 2–2,5 км. В поперечнике выделяется относительно узкая рифтовая зона, представляющая собой ось спрединга, с двух сторон обрамленная сбросами и взбросами. На склонах хребтов часто развиты грабены шириной 20–30 км и протяженностью более 50 км.

В гравитационных полях быстросредингового СОХ (скорость радижения литосферных плит 4 и более см/год) отмечаются слабые положительные аномалии Буге, в медленноспрединговом (менее 4 см/год) — отрицательные (до 50 мГал) и положительные аномалии Фая [3]. Параллельно СОХ распространены симметричные положительные магнитные аномалии. Рифтовые зоны СОХ рассечены трансформными разломами с расстояниями в быстросрединговом СОХ — 350–550 км, в медленноспрединговом — 250 км. Следует отметить, что СОХ характеризуется повышенным тепловым потоком, вулканической и сейсмической активностью.

В гребневых зонах СОХ распространены толеитовые базальты, а на глубинах 2000–2600 м на молодой океанической коре в результате гидротермальной деятельности происходит формирование колчеданных месторождений кипрского типа.

В грабенах на глубинах 3000–4500 м при продолжающейся фу-марольной и вулканической деятельности формируются кремнистые и углисто-кремнистые толщи аспидной формации с повышенными содержаниями ванадия, молибдена, рения, мышьяка и др. В связи с формированием океанической коры образуются хромитовые месторождения в ультрабазитах, медно-цинковые колчеданные месторождения в базальтоидах второго слоя, а в кремнистых осадках первого слоя — окисные марганцевые руды. В целом геохимическая специализация вулканогенных пород срединно-океанических хребтов — сидерофильная.

Геологические формации: карбонатная пелагическая, карбонатная биотурбидитовая, гарцбургит-лерцолитовая, габбро-долеритовая, базальт-андезитовая, вулкано-кластическая эдафогенная, перидотитовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: углеродистых сланцев (металлоносных сланцев), кремнисто-карбонатная (фосфоритовая кремнисто-карбонатная), аспидная (медно-цинковая углеродистая), кремнисто-сланцевая (железородная кремнисто-гематитовая), вулканогенно-кремнисто-карбонатная (железо-марганцевая кремнистая), натриевых базальтов (медно-цинковая колчеданная), дунит-перидотитовая (хромитовая), габбро-анортозитовая (титано-магнетитовая), габбровая (титано-магнетитовая), пироксенит-габбровая (титано-магнетитовая).

Геодинамические обстановки абиссальных плато

К этим структурам обычно относят обширные площади океанического дна совместно с цепями океанических островов, впадин, плато, подводных гор, расположенных между СОХ и глубоководными приконтинентальными желобами. Абиссальные впадины располагаются обычно на глубинах около 4000 м, имеют океаническую кору мощностью 7–10 км. В обстановке абиссальных плато формируются пелагические и турбидитовые осадки, кремнистые и известковистые глины и подстилающие их базальты. По мере приближения к СОХ они сменяются вулканогенными и известковистыми отложениями.

Среди этих отложений встречаются значительные по запасам железо-марганцевые конкреции и железо-марганцевые корки, содержащие повышенные количества никеля, меди и кобальта (районы Кларион-Клиппертон и др.).

Геологические формации: карбонатная пелагическая, рифовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: кремнисто-карбонатная пелагическая (оксидно-марганцевая, железо-марганцевых конкреций).

Пассивные окраины

Геодинамические обстановки шельфа и континентального склона.

Под пассивными окраинами понимаются обширные площади континентальных окраин атлантического типа, включающие в себя край континента, шельф, континентальный склон и его подножие (Восточные окраины Северной и Южной Америки, Африка и др.). В качестве тектонотипа рассматривается современная приатлантическая часть Северной Америки. Отличительной особенностью пассивных окраин является обширное осадконакопление как результат устойчивого длительного прогибания и отсутствие магматической деятельности. Среди осадков преобладают терригенные и карбонатные отложения с увеличенной мощностью в сторону океана. В разрезе они образуют линзообразную залежь, сложенную кластическими отложениями, привнесенными с континента, хемогенными образованиями, вблизи подножия — турбидитами, олистостромами, далее в океане — лютитами. Разрезаны они обычно каньонообразными долинами, заполненными грубообломочными осадками. На ранней стадии развития могут внедряться силлы основных пород особенно — вблизи авлакогенов.

Земная кора в пассивных окраинах является корой переходного типа с мощностью от 7–10 км вблизи континентального подножия, до 20–30 км и более вблизи краевой части материка.

Континентальный шельф представляет собой подводную равнину шириной более 80 км, глубиной поверхности дна до 200–600 м и протяженностью в сотни и тысячи километров. В области континентального шельфа накапливаются прибрежно-морские мелководные отложения, состав которых варьирует в зависимости от климата, источников сноса, колебаний уровня моря и т. д. Различаются шельфы по составу фаций слагающих отложений на преимущественно карбонатные, терригенно-карбонатные, эвапоритовые, дельтовые и др. Мощность осадков вблизи континентального склона может достигать 15 км.

Кроме строительных материалов с осадками шельфа связаны прибрежно-морские россыпи различных полезных ископаемых. В зависимости от состава размываемого субстрата и климатических условий в жарком климате формируются монацит-циркон-рутил-ильменитовые россыпи (Индия, Австралия), россыпи алмазов (побережье Африки), в умеренном — ильменитовые россыпи. В морских заливах, расположенных в жарком аридном климате формируются карбонатные отложения и соли. Из коллоидных растворов в умеренных климатических поясах образуются скопления оолитовых бурожелезняковых руд. В тропическом климате в морских бассейнах пассивных окраин в условиях апвеллинга наблюдаются скопления биохимических фосфоритов (Западные побережья Африканского и Австралийского континентов).

На пассивных окраинах в тропических и гумидных климатических поясах накапливается значительное количество органического вещества, могущего служить источником для формирования нефтегазоносных материнских толщ. Анализ материалов по пассивным окраинам континентов показывает, что в их пределах сконцентрированы гигантские скопления нефти и газа (месторождения на атлантическом побережье Северо-Американского континента, Бразилии, Индии и Австралии). Образование нефти в современных пассивных окраинах протекало на начальной стадии накопления нефтематеринских толщ в условиях рифтогенеза. Наиболее продуктивными эпохами образования нефтяных залежей считается верхняя юра и нижний мел, а газа — пермский период.

При захоронении в терригенно-карбонатных толщах растительного детрита, привнесенного реками или скопившегося в прибрежных зонах в авлакогенах, формируются угленосные бассейны паралического типа (Донецкий бассейн).

Континентальный склон имеет пологую (в среднем 4°) поверхность погружения и обладает утоненной корой континентального типа. Нижняя граница склона проводится по выполаживанию поверхности дна на глубинах 2,5–3 км. Ширина склона измеряется десятками километров. Типичными формациями для континентального склона являются флишевые, флишеоидные и олистостромовая. Внутри выделяются субпараллельные побережью грабены, ступенчато погружающиеся в сторону океана. Иногда они пререзаются поперечными каньонами, начинающимися от устьев рек.

Отмечается присутствие в пределах склона немногочисленных скоплений фосфоритов, а также предполагается наличие залежей нефти.

Геологические формации: шельфа — рифовая, слоисто-известняковая, угленосная паралическая, аспидная, трахи-базальтовая, известняково-доломитовая, известняково-глинисто-сероцветная, битуминозно-глинисто-карбонатная, глауконитовая песчано-глинистая; континентального склона — песчаная, гравийно-галечная, олистостромовая, флишевая, аргиллитовая и алевроитовая пелагические.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: карстово-карбонатная (свинцово-цинковая), углеродисто-карбонатная (барит-свинцово-цинковая), кремнисто-сланцевая (баритовая), кремнисто-карбонатная (кремнисто-карбонатная фосфоритоносная, кремнисто-карбонатная марганценозная), галогенная эвапоритовая (галитовая), гравийно-галечная прибрежно-морская (алмазоносных россыпей), терригенно-карбонатная (медистых сланцев, нефтегазоносная, каменноугольная), карбонатная (магнезитовая), глинистая детритовая (фосфор-урановая), глинисто-песчаная (оолит-бурожелезняковая), песчано-галечная (титан-циркониевая россыпная).

Геодинамические обстановки континентального подножия.

Континентальное подножие сменяет в направлении океана континентальный склон и представляет собой наклонную слабоволнистую равнину шириной до 1000 км. Во внешней части консолидированная кора имеет минимальную мощность 7–10 км и является корой рифтогенного типа, близкого по составу к океанической. Глубина поверхности дна может достигать 5 км. На континентальное подножие приходится второй уровень лавинной седиментации (первый — на шельфе). Наряду с турбидитами в составе осадков наблюдаются олистостромы, песчано-алевроитовые осадки со знаками ряби и косой слоистостью — контуриты, илы и лютиты.

Из всех перечисленных структур пассивных окраин континентальное подножие является наиболее бедным на полезные ископаемые. В черносланцевых толщах отмечается присутствие металлоносных сланцев с молибденом, ванадием, ураном, рением, ртутью, сурьмой, золотом и другими редкими элементами, за счет которых при последующем метаморфизме формируются промышленные концентрации.

Геологические формации: глинисто-алевритовая, карбонатно-кремнисто-глинистая турбидитовая, терригенных турбидитов и контуритов, «черных глин», глинистый флиш.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: углеродистых сланцев (металлоносных сланцев), углисто-кремнисто-глинистая (молибден-ванадиевых сланцев), кремнисто-сланцевая (баритовая).

Геодинамические обстановки авлакогенов

Авлакогены в разрезе представляют собой грабенообразную структуру, ограниченную с обеих сторон системами разломов (грабен Бенуэ, Луангвы, Мезенский, Днепровско-Донецкий авлакогены). Протяженность их обычно сотни километров при ширине в десятки километров. Заполнены они терригенными и терригенно-карбонатными отложениями мощностью до 10–15 км, среди которых преобладают конгломераты, песчаники, аргиллиты, эвапориты. В низах разрезов наблюдаются прослои щелочных базальтов и дайки базальтов толеитового состава.

Мезенский авлакоген в геофизических полях проявляется в виде линейных отрицательных аномалий гравитационного поля интенсивностью до 10–15 мГал.

Авлакогены с повышенным содержанием вулканитов в магнитных полях проявляются системами локальных положительных магнитных аномалий. Характеризуются пониженной мощностью континентальной коры и литосферы и значительным прогибанием, приведшим к накоплению осадков повышенной мощности.

Практически все вышеохарактеризованные типы полезных ископаемых пассивных окраин встречаются и в авлакогенах. Дополнительным источником халькофильных элементов в авлакогенах (меди, цинка, свинца и др.) могут служить продукты базитовой магмы. В битуминозных сланцах отмечаются промышленные концентрации свинца, цинка, меди, серебра, медистых сланцев (Маунт-Айза, Сулливан). Как и на пассивных окраинах, в авлакогенах происходит накопление терригенных и терригенно-карбонатных угленосных и нефтегазоносных отложений.

Геологические формации: группа карбонатных и терригенных формаций (молассовых, красноцветных), угленосная паралическая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: терригенная сероцветная (киноварная аргиллизитовая), терригенная пестроцветная (медистых песчаников, бокситовая терригенная), кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая джаспероидная), песчано-глинистая (марганцевая оксидная), пестроцветная терригенно-карбонатно-глинистая битуминозная (медистых сланцев), сульфатно-известняковая (марганцевая карбонатная), известняково-доломитовая (бокситовая карбонатная), глинисто-песчаная (оолит-бурожелезняковая), сланцево-карбонатная (магнезиально-сидеритовая), терригенная (инфильтрационно-урановая), терригенно-карбонатная (нефтегазоносная), терригенно-карбонатная угленосная (каменноугольная), туфосланцевая (медно-полиметаллическая колчеданная), глинистая детритовая (фосфорно-редкоземельно-урановая), галогенная эвапоритовая (галитовая).

II. Класс конвергентных границ

1. Активные континентальные окраины

1.1. Геодинамические обстановки активных континентальных окраин андского и кордильерского типов.

Как уже отмечалось выше, среди субдукционных конвергентных структур выделяются главным образом две разновидности: активные окраины андского и западнотихоокеанского (островодужного) типов. Некоторыми исследователями выделяются также дополнительно активные окраины кордильерского типа (Южная часть Аляски, островная дуга Малых Антильских островов — Карибская дуга). Различия между ними сводятся к различию возникших структур преобразования. В западно-тихоокеанском типе окраина надвигаемой плиты вначале имеет океанскую или переходную кору, в орогенах кордильерского типа она является пассивной окраиной континента, а в активных окраинах андского типа представляет собой мощную континентальную кору. По мере поддвигания литосферной плиты с океанической корой под пассивную окраину, последняя, по мере развития магматической дуги, превращается сначала в ороген кордильерского типа, а затем, после выполаживания зоны субдукции, преобразуется в ороген андского типа. Отличительной особенностью активных окраин

андского типа является высокая скорость субдукции и пологие углы зон поддвигаания. Теоретически предполагается также, что между орогенами кордильерского типа и островными дугами активной окраины западнотихоокеанского типа могут существовать все переходы. Считается, что орогены, возникшие на активной окраине андского типа, орогены островных дуг и активных окраин кордильерского типа имеют между собой много общих черт, так как возникли при сдвигении литосферных плит. Отсюда происходит сходство слагающих их структурно-вещественных комплексов и связанных с ними полезных ископаемых.

Характерной чертой активной окраины является наличие за глубоководным желобом магматической дуги, за которой располагается задуговая область с окраинными морями или без них. Магматическая (вулканическая дуга) может находиться на островодужном хребте, отделенном от континента морским бассейном (япономорский, островодужный тип активной окраины) или непосредственно на континенте (андский тип активной окраины). Поскольку островодужные обстановки рассмотрены в самостоятельных разделах, ниже приводится характеристика континентальной окраины андского типа.

Первоначально в течение триаса—нижней юры западная окраина Южно-Американского континента развивалась в островодужной обстановке, а с палеогена — по андскому типу. «Фактически такую обстановку можно рассматривать как продолжающуюся субдукцию, происходящую на фоне предшествующей коллизии в системе дуга-континент» (Р. Г. Ибламинов, 2001).

По латерали в строении активной окраины (АО) андского типа наблюдается отчетливая зональность, подтвержденная геофизическими данными. От океана в сторону континента выделяются: глубоководный желоб, береговой хребет (внешняя дуга или континентальный склон), преддуговой (фронтальный) прогиб, вулканоплутоническая дуга, межгорный орогенный прогиб (грабен), тыловодужный складчато-надвиговой (магматический) пояс, тыловой прогиб.

Особенности строения и рудоносности глубоководных желобов приводятся ниже в самостоятельном разделе.

Береговой хребет сложен отложениями аккреционной призмь или, в случае их отсутствия, представляет собой приподнятый край континентальной плиты.

Преддуговой (фронтальный, внешний) прогиб (он же междугуговой прогиб, преддуговой трог) выполнен терригенными, терригенно-карбонатными и вулканогенно-осадочными отложениями, образованными за счет размыва и сноса с соседних поясов. Имеют они значительную мощность (до 12 км) и моноклинальное залегание. Могут слагать надвиговые пластины и отдельные чешуи, особенно вблизи с магматической дугой.

В качестве примера наложенного гидротермального оруденения, развитого в структурах этого типа, можно рассматривать ртутное месторождение Нью-Альмаден, расположенное в пределах Берегового хребта Калифорнии.

Вулкано-плутоническая дуга формируется над зонами субдукции, погружающимися под крутыми углами ($25-30^\circ$), на континентальном основании повышенной мощности (в Андах $30-70$ км). В случае пологого погружения субдукцирующей плиты под углами до 10° вулканические проявления отсутствуют. В составе вулкано-плутонического пояса преобладают батолиты, сложенные гранодиоритами и гранитами (Андский батолит). Вулканогенные породы занимают подчиненное положение и представлены известково-щелочными андезит-риолитовыми и субщелочными шошонит-латитовыми разновидностями. В составе магматических пород отмечается увеличение щелочности по мере удаления их от береговой линии в сторону континента.

В пределах дуги в связи с андезитами и риолитами развиты эпитермальные месторождения золота и серебра, а с субвулканическими интрузиями гранодиоритов и кварцевых монцонитов ассоциируют медно-молибденовые месторождения и медьсодержащие брекчиевые трубки. С гранодиоритами связаны скарновые месторождения железа, меди, вольфрама, а с кислыми эффузивами — магнетитовые руды с апатитом.

Межгорный орогенный грабен выполнен обломочными породами мощностью от 7 до 15 км (грабен Альтипано). При значительной протяженности ширина высокогорного грабена достигает до 200 км. В приконтактной части грабена отмечаются трещинные излияния лав, характерных для континентальных рифтов.

Тыловодужный складчато-надвиговой пояс расположен в несколько сот километров от вулкано-плутонической дуги и имеет ширину $60-80$ км. Отделяется он от окружающих структур системами складчатых и надвиговых зон. Сложен пояс

преимущественно гранитоидными батолитами. В отличие от островодужных обстановок активной окраины западнотихоокеанского типа здесь развит наземный вулканизм. Вулканогенные породы сформировались относительно в небольших объемах и представлены главным образом шошонит-латитовой ассоциацией.

Для тыловодужного магматического пояса характерны вулканогенные гидротермальные полиметаллические месторождения, связанные с андезитами, кварцевыми монцонитами, дацит-риолитами (Перу, Мексика). В связи с кварцевыми латитами отмечается образование месторождений олова и вольфрама, с феолитами — месторождений золота и теллуридов золота — в США (Крипл-Крик). В Перу и Мексике в ассоциации с гранодиритами обнаружены скарновые месторождения цветных металлов и золота. Отмечаются также аллювиальные россыпи золота (Колумбия) и инфильтрационные месторождения урана.

Зона тылового рифтогенеза АО (тыловой прогиб). Рассматривается в качестве аналога задугового бассейна островных дуг, который отделяет АО от платформ. Фиксируется системой нормальных сбросов и грабенов с сокращенной мощностью земной коры и литосферы в целом (Егоров, 2004). Возможно, рифты образуются при отступлении магматической дуги назад, в сторону океана, в связи с погружением субдуцирующей океанической коры.

С режимом пологой субдукции Ф.Соукинс связывает образование рифта Рио-Гранде, к которому приурочены тела палеоген-неогеновых монцонитов и гранитов с крупнейшим молибден-порфировым месторождением Кляймекс. С риолитовым вулканизмом ассоциируются флюоритовые и оловянные месторождения Мексики, урана и ртути — на западе США. В вулканических кальдерах с кварцевыми латитами сформировались жильные месторождения цветных и благородных металлов.

В особый вид структур АО некоторыми исследователями (А. Митчелл и М. Гарсон, 1989) выделяются краевые платформенные бассейны в областях растяжения, расположенные между крупными рифтами типа Рио-Гранде и магматическими дугами (провинция Бассейнов и Хребтов на западе США). Признаком растяжения является наличие нормальных сбросов и присутствие базальт-риолитового бимодального вулканизма.

В этой обстановке могли сформироваться золото-кварцевые месторождения Мазер Лоуд в Калифорнии, многочисленные эпитермальные золото-серебряные месторождения провинции Бассейнов и Хребтов, локализованные в вулканогенных породах (андезитах и дацитах), а также месторождения золота типа Карлин в окварцованных алевритистых известняках.

При минерагеническом районировании следует учитывать, что в принципе каждая из выделенных структур по своему объему, развитой минерализации может служить самостоятельной минерагенической зоной.

По геофизическим данным, АО андского типа имеет мощность литосферы от 110 до 140 км, а по результатам гравиметрических и магнитометрических исследований, средняя мощность земной коры составляет 30–40 км, достигая 70 км в Западных Кордильерах и плато Альтипано. Скорость V_p верхней мантии изменяется от 7,8 до 8,1 км/с. Угол наклона сейсмофокальной зоны в Андах составляет 10–30°.

В Активных окраинах отмечается значительная расслоенность земной коры, о чем свидетельствует широкое развитие аномальных зон пониженной скорости и повышенной электропроводности. К увеличению расслоенности коры приводят большие объемы палингенных выплавов.

Сравнивая геодинамические обстановки АО западнотихоокеанского и андского типов, можно обнаружить черты сходства и различия их режимов. Так, состав магматических образований и связанных с ними полезных ископаемых близок в главных магматических дугах обоих типов. Различия сводятся прежде всего к тому, что в западно-тихоокеанском (островодужном) типе господствовали подводно-морские условия вулканизма и формировались стратиформные вулканогенно-осадочные месторождения, а в андском — континентальные условия и широко представлены жильные гидротермальные месторождения. Вторым отличием можно считать присутствие в островодужных обстановках спрединговых окраинных морей с характерным типом осадконакопления и минерагении, сближающих их со срединно-океаническими хребтами. По мнению В. П. Гаврилова, в зонах субдукции происходит возгонка и термоллиз биогенных веществ с образованием термальных флюидов, переносящих углеводороды. Поэтому палеозоны субдукции могут быть перспективными на нефть и газ, хотя в современных незавершенных субдукционных структурах они не встречены.

Геологические формации: базальт-андезитовая, андезит-базальтовая, риолитовая, трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовая, трахириолит-трахибазальтовая, трахириолитовая, шоссонитовая, щелочных базальтоидов и фонолитов, щелочных базальтоидов и лейцитифиров, габбро-диорит-плагиогранитовая, нефелиновых сиенитов, диорит-гранит-гранодиоритовая монцонитоидная, диорит-граносиенит-щелочногранитовая, щелочных габброидов.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: терригенно-карбонатная (медистых сланцев), терригенно-кремнисто-карбонатная (железо-марганцево-барит-свинцово-цинковая), терригенно-карбонатно-углеродистая (золото-углеродистая), пестроцветная карбонатно-терригенная (медистых песчаников), вулканогенная кремнисто-карбонатная (железо-марганцевая кремнистая), сульфатно-карбонатная (серная), контрастная липарит-базальтовая (флюоритовая), андезитовая (метациннабарит-киноварная), трахиандезитовая (метациннабарит-киноварная), дацит-липаритовая (метациннабарит-киноварная), базальт-риолитовая (антимонитовая аргиллизитовая), базальт-липаритовая (меднорудная вкрапленная), базальт-андезит-риолитовая (олово-серебряная), перидотитовая (метациннабарит-киноварная листовитовая), монцонит-гранитовая (магнетит-скарновая), габбро-диорит-гранодиоритовая (медно-железородная скарновая, медно-рудная жильная, молибден-медная порфировая, свинцово-цинковая скарновая, свинцово-цинковая жильная), гранодиоритовая (медно-турмалиновая), гранит-гранодиоритовая (касситерит-сульфидная пропилитовая), диорит-гранодиорит-лейкогранитовая (касситерит-скарновая), гранодиорит-гранитовая (молибденит-гумбеитовая), гранит-лейкогранитовая (касситерит-кварцевая грейзеновая, шеелит-кварц-полевошпатовая гумбеитовая), аляскитовая (вольфрамит-кварцевая грейзеновая), диорит-гранодиоритовая (золото-кварцевая, уран-молибденовая), рапакиви-гранитовая (редкометалльно-флюоритовая).

Геодинамические обстановки глубоководных желобов.

Глубоководные желоба формируются вдоль линии контакта двух литосферных плит при их конвергентном взаимодействии. Глубоководные желоба обычно имеют ширину 50–100 км, значительную протяженность (тысячи километров) и достигают

значительных глубин (до 11 000 м). Заполнены они турбидитовыми осадками мощностью 2–3 км. Строго говоря, глубоководные желоба могут быть отнесены к зонам субдукции, так как обозначают начало процесса взаимодействия литосферных плит. С внешней стороны, вдоль пограничной зоны, примыкающей к островной дуге, в процессе субдукции происходит формирование надвигов, пластины которых сложены пелагическими осадками чехла океанической коры и турбидитами глубоководного желоба. Подобные структуры получили название внешней невулканической дуги или аккреционной призмы.

С кремнисто-карбонатными отложениями могут быть связаны джаспероидные сурьмяно-ртутные, а с перидотитами океанической коры — лиственитовые ртутные месторождения. Следует отметить, что в зоне шельфа здесь установлены массивные фосфориты и некоторые проявления россыпей.

Выделение минерагенических зон глубоководных желобов проблематично, так как встреченная в них минерализация является аллохтонной и развита в ограниченных объемах.

Геологические формации: сероцветная туффито-кремнисто-терригенная, карбонатно-кремнисто-глинистая турбидитовая, туффито-глинисто-кремнистая красноцветная, олистостромовая, дунит-габбровая, габбро-долеритовая, натриевых базальтов.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая джаспероидная), перидотитовая (метациннабарит-киноварная лиственитовая).

Активные континентальные окраины западнотихоокеанского типа

Преставителями активных окраин западноокеанского типа, как уже отмечалось выше, являются островные дуги (ОД), которые в зависимости от подстилающего их фундамента подразделяются на энсиматические — на фемическом фундаменте (Марианская, Тонга-Кермадек ОД), энсиалические — на континентальном основании (Японские острова) и переходного типа — на коре субконтинентальной или субокеанической (Курильские острова).

Геодинамические обстановки энсиматических островных дуг

Под энсиматическими островными дугами понимаются протяженные (тысячи километров) вулканические цепи островов, заложенные на коре океанического типа, отделенные обычно

от континента окраинными морями, а со стороны океана граничащие с глубоководными желобами. В ходе своего развития энсиматическая островная дуга проходит два главных этапа. В начальный инверсионный этап в результате субдукции образуется глубоководный желоб со стороны океана, и в пределах ОД возникают магматические очаги сначала основного состава, а затем, по мере формирования коры переходного типа, базальтовый вулканизм сменяется андезитовым. Во второй реверсионный этап после заложения нового желоба со стороны окраинного моря и отмирания старого приокеанического происходит сближение ОД с пассивной окраиной континента и последующее их столкновение.

Д. Кариг в 1975 г. предложил в энсиматической дуге выделять следующие структурные элементы (от океана к континенту): глубоководный желоб, аккреционную призму, фронтальную дугу, вулканическую цепь, активный краевой бассейн, остаточную дугу и неактивный краевой бассейн.

Вдоль глубоководного желоба в результате субдукции молодой океанической коры под древнюю океаническую кору формируются тектонические клинья, погружающиеся в сторону дуги и представленные пелагическими осадками океанического дна, турбидитами глубоководного желоба, иногда чешуями офиолитов (Зондская зона субдукции). Эта структура получила название аккреционная призма или невулканическая внешняя дуга. Ее состав и внутренняя структура зависят от скорости субдукции, мощности осадков поддвигающейся плиты, угла наклона зоны субдукции и других причин. По мнению Р. Г. Ибламинова, в некоторых случаях внешняя дуга может содержать интрузивные породы гранитоидного состава, с которыми на юго-западе Японии связаны оловянные проявления, а на Тайване — кайнозойские золотоносные кварцевые жилы.

Область островной дуги, расположенную между аккреционной призмой и вулканической цепью, называют «междуговой или предуговой прогиб» (фронтальной дугой), формирующийся на фрагментах океанической коры и породах островной дуги. Заполняется он флишоидными терригенными отложениями, иногда значительной мощности (до нескольких километров) (прогиб Тобаго). Ширина предугового прогиба колеблется от 50 до 250 км, а протяженность сопоставима с протяженностью ОД. Здесь могут формироваться прибрежно-морские россыпи касситерита и золота.

Вулканическая дуга (магматическая, внутренняя дуга) — наиболее приподнятая часть ОД, сформирована над сейсмофокальными зонами, расположенными на глубинах от 100 до 200 км. В ее пределах наиболее интенсивно проявилась магматическая деятельность. Установлена поперечная зональность в составе вулканических комплексов по направлению от выпуклой к вогнутой частям дуги: кислые толеитовые вулканиты — высокоглиноземистые базальты, вулканиты известково-щелочной серии — щелочно-оливиновые базальты. От внешнего края к внутреннему увеличивается содержание калия. В состав комплексов, слагающих вулканическую дугу, входят, кроме вулканогенных, вулканогенно-осадочные породы, турбидиты и лахаровые брекчии. Общая мощность этих образований может составлять несколько тысяч метров. Среди интрузивных пород преобладают диориты и гранодиориты, а среди метаморфического ряда — породы амфиболитовой стадии метаморфизма с андалузитом и силлиманитом.

Наиболее распространенными полезными ископаемыми, развитыми в магматических дугах, являются молибден-медные порфириновые месторождения, связанные с тоналитами или шоннитами (Филиппины, Папуа — Новая Гвинея). На Багио, Филиппинах в андезитовых вулканических постройках встречены золото-кварцевые месторождения. В приконтактных зонах диоритов и гранодиоритов сформировались скарновые проявления магнетита, халькопирита и шеелита (Филиппины).

В зональном ряду островодужных обстановок А. Митчеллом предложено выделить тыловодужный магматический пояс, расположенный в нескольких сотнях километров от главной магматической дуги в сторону континента. В составе его отмечаются магматические породы корового происхождения — плюмазитовые граниты, риолиты, в ограниченных объемах андезиты и базальты. Наиболее характерным для пояса является олово-вольфрамовое оруденение (Западный оловорудный пояс Юго-Восточной Азии, Бирма—Таиланд-Индонезия) грейзенового и кварцево-жильного типов. По-видимому, тыловодужный магматический пояс более типичен для энсиалических островных дуг.

Островные дуги отделяются от континента окраинными или задуговыми (тыловодужными) бассейнами, характеристика которых приведена в соответствующих разделах.

В гравитационном поле максимум интенсивности соответствует глубоководному желобу в 40–60 мГал, возрастает до 100–300 мГал над вулканической дугой и снова уменьшается в задуговом бассейне. Тепловое поле в современных ОД имеет устойчиво высокие значения в задуговом бассейне, высокие — в вулканической дуге и пониженное — в преддуговой области. В разрезе верхней мантии резкая граница кора–мантия отсутствует и характеризуется чередованием высоко- и низкоскоростных слоев. Мощность земной коры под островными дугами оценивается в 20–25 км.

В пределах ОД могут быть встречены проявления полезных ископаемых главным образом двух типов: автохтонные, связанные с продуктами магматической деятельности в процессе развития самой ОД (золото-медно-порфиновые, молибден-медные), и аллохтонные, перемещенных из СОХ и выведенные на поверхность в процессе субдукции (магматогенные хромитовые и медно-цинковые колчеданные).

Несмотря на, казалось бы, хорошую относительную изученность ОД, существуют разногласия в типизации структур, их наименованиях, объемах и т. д. В наших характеристиках использована наиболее распространенная и, на наш взгляд, наиболее приемлемая для задач прогнозно-минерагенических исследований классификация ОД, базирующаяся на опыте отечественных и зарубежных исследователей.

Геологические формации: карбонатно-туффитовая, граувакковая, кремнисто-диатомитовая, туфопесчано-конгломератовая, туфоалевролит-песчаниковая, флишевая, базальт-андезитовая, андезитовая, базальт-андезит-риолитовая, риолит-базальтовая, дацит-риолитовая, габбро-диорит-плагиогранитовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: вулканогенная кремнисто-карбонатная (марганцевая браунит-гаусманит-родохрозитовая), контрастная базальт-риолитовая (медно-цинковая колчеданная), непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая (медно-цинковая колчеданная), натриевых базальтов (медно-свинцово-цинковая колчеданная), андезит-базальтовая (магнезит-скарноидная), шошонитовая (медно-молибденовая порфировая), гранитовая (олово-вольфрамовая грейзеновая), дунит-перидотитовая (хромитовая), габбро-перидотитовая (железорудно-медная), габбро-диоритовая (медно-железорудная скарновая), плагиогранитная (золото-медно-

порфировая), диорит-гранодиоритовая (золото-сульфидная), тоналит-гранодиоритовая (магнетитовая скарновая).

Геодинамические обстановки задуговых бассейнов

Задуговые бассейны развиты в тыловой части островных дуг и отделяют микроконтиненты от континентов (Японское, Южно-Китайское, Тасманово и другие моря). По эволюции своего развития, составу слагающих отложений, структурно-морфологическим особенностям и другим данным среди них выделяются пассивные и активные окраинные моря.

Пассивные задуговые бассейны представляют собой обширные депрессии, выполненные вулканогенно-осадочными отложениями, привнесенными с континента и островной магматической дуги. Отличаются они относительно спокойной тектонической обстановкой развития, плоским или слабо расчлененном дном с глубинами до 3–5 км, во многом напоминают пассивные окраины континентов. Среди терригенных прибрежно-морских отложений встречаются россыпи касситерита, магнетита, титаномагнетита.

Активные задуговые бассейны характеризуются режимом растяжения морского дна и формированием зоны задугового спрединга. Морфологически бассейны представляют собой системы линейных хребтов и трогов, заполненных продуктами размыва вулканических островов и пелагическими осадками. По степени зрелости различаются среди них зарождающиеся бассейны, начальной стадии раскрытия и зрелые бассейны.

В зарождающихся активных бассейнах при расколе континентальной или островодужной коры формируются грабеноподобные структуры, заполненные толщей осадков мощностью до 2 км. Отмечается в некоторых случаях развитие гидротермальной деятельности (впадина Окинава).

В активных бассейнах начальной стадии развития в глубоководных впадинах с осадками мощностью до 3 км фиксируются излияния базальтов по составу, близкому к базальтам океанических хребтов. В случае продолжения грабенов в сторону континента в составе магмы могут присутствовать бимодальные продукты – базальты и риолиты. В направлении островных дуг и в случае их пересечения в составе излияний появляются андезиты и дациты.

В задуговых бассейнах, достигших зрелой стадии развития, присутствует океаническая кора с полосовидными магнитными

аномалиями, спрединговые хребты, аналогичные срединно-океаническим. В процессе спрединга в срединной части бассейна происходит излияние подушечных лав и образуются покровы базальтов, а в процессе преддуговой субдукции формируются лавы преимущественно среднего состава. Базальты задуговых спрединговых бассейнов отличаются от срединно-океанических повышенными содержаниями калия, бария и рубидия и пониженным содержанием титана, редких земель и ниобия. В спрединговых хребтах встречаются серпентинизированные перидотиты с хромшпинелидами и габброиды с титаномагнетитом. Формируются месторождения, типичные для океанических обстановок.

По мнению Р. Г. Ибламинава [4] и вслед за Ф. Соукинсом (Sowkins, 1990) целесообразно в зарождающихся и начальных задуговых бассейнах выделять обстановки рифтов, связанных с дугами. Для внутридуговых рифтов, секущих энсиалические островные дуги, характерны проявления кислого вулканизма, с которыми связаны колчеданно-полиметаллические месторождения типа куроко, содержащие повышенные количества золота и серебра, также оксидные железомарганцевые руды. В вулканической зоне Таупо (Новая Зеландия) в связи с риолитовым вулканизмом отмечается современное золото-серебрянное рудобразование. Отличительной особенностью сульфидных гидротермальных образований задуговых бассейнов от срединно-океанических является приуроченность к риолит-базальтовым комплексам и преобладание среднетемпературных и низкотемпературных растворов и руд, обогащенных Pb, Ag, Au, Ba, Cd, Sb.

Кроме отмеченных выше типов окраинных морей, возникших при отделении микроконтинетов от континентов существуют, по-видимому, и другие геодинамические обстановки их формирования. Они могут возникнуть при расколе океанической плиты и подъеме мантийного диапира в тылу энсиматической островной дуги, при субдукции под косым углом воздействия трансформного разлома.

Геологические формации: известняково-кремнисто-глинистая турбидитовая, карбонатно-туффитовая, известняково-глинисто-песчано-туффитовая сероцветная, карбонатно-кремнисто-глинистая, яшмовая, радиоляриево-туффитовая, кремнисто-глинистая, кремнисто-глинисто-туффитовая, аспидная, флишевая, базальтовая, перидотитовая, дунит-

габбровая, дунит-гарцбургитовая, натриевых риолитов, габбро-долеритовая, плагиогранитовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: вулканогенная кремнисто-карбонатная (марганцевая браунит-гаусманит-родохрозитовая), натриевых базальтов (медно-цинковая колчеданная, медно-свинцово-цинковая колчеданная), габбровая (титано-магнетитовая), дунит-перидотитовая (хромитовая).

Геодинамические обстановки энсиалических островных дуг

Энсиалические островные дуги образуются в процессе субдукции под крутым углом древней океанической коры под континентальную окраину с отторжением микроконтинентов. В тыловой части островной дуги обычно формируются спрединговые окраинные моря, отделяющие микроконтинент от континента. На самом микроконтиненте при выполаживании угла субдукции на активной окраине развиваются магматические дуги и тогда островные дуги приобретают черты энсиалических (Японская островная дуга, Новая Зеландия, Чешский, Омолонский и другие массивы).

При типизации островодужных геодинамических обстановок некоторыми исследователями выделяются юные, развитые и зрелые островные дуги. В вулканических породах юных островных дуг отмечаются повышенные кларки концентраций сидерофильных элементов для всех групп пород и халькофильно-сидерофильная геохимическая специализация (Урал, Передовой Хребет Кавказа). В вулканогенных образованиях развитых островных дуг — андезитобазальты, андезиты и базальты отличаются повышенным содержанием алюминия, натрия, калия фосфора и слабо выраженной халькофильной специализацией (Алеутская, Курильская, Филиппинская и другие дуги, а в прошлом — Малого Кавказа, Алтае-Саянской области). Геохимическая специализация умереннокалиевых базальтов, андезитобазальтов и высококалиевых базальтов зрелых островных дуг является литофильно-халькофильной.

По крутопадающим разломам в микроконтинент внедряется известково-щелочная и щелочная гранитоидная магма, с которой связан комплекс полезных ископаемых. Из наиболее характерных типов рудной минерализации, свойственных этой геодинамической обстановке можно назвать колчеданно-полиметаллические, золото-серебряные и ртутные месторождения,

а также месторождения самородной и колчеданной серы. Часто руды носят комплексный характер и образуют закономерные эволюционные ряды. Безусловно, на особенности рудной минерализации оказали влияние мощность и состав фундамента микроконтинента, что и сказалось на отличии от минерагении энсиматических островных дуг.

На противоположной пассивной окраине крупных микроконтинентов могут формироваться терригенные или терригенно-карбонатные отложения, включая черные углеродисто-кремнистые сланцы.

Одной из особенностей микроконтинентов можно считать также возможность их образования при закрытии спрединговых окраинных морей или при столкновении островных дуг.

Геологические формации: карбонатно-туффовая, граувакковая, кремнисто-диатомитовая, туфопесчано-конгломератовая, туфоалевролит-песчаниковая, флишевая, базальт-андезитовая, андезит-базальтовая, базальт-андезит-риолитовая, риолит-базальтовая, дацит-риолитовая, трахибазальтовая, трахириолит-трахибазальтовая, шошонитовая, щелочных базальтов и фонолитов, габбро-диорит-плагиогранитовая, диорит-гранодиоритовая, щелочных габброидов, нефелиновых сиенитов.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: контрастная базальт-риолитовая кремнисто-терригенная (медно-свинцово-цинковая колчеданная), непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая (свинцово-цинковая медноколчеданная), андезит-базальт-риолитовая (золото-серебряная), андезитовая (самородной серы), трахиандезитовая (метациннабарит-киноварная карбонатно-аргиллизитовая), дацит-липаритовая (метациннабарит-киноварная карбонатно-аргиллизитовая), габбро-диоритовая (медно-железородная скарновая, медно-пурпуровая), габбро-диорит-гранодиоритовая (свиново-цинковая скарновая).

III. Класс коллизионных и постколлизионных обстановок

Коллизионные обстановки возникают на поздней стадии развития океана, на стадии его закрытия, когда имеет место наращивание континента за счет приращения (аккреции) отдельных блоков земной коры. В зависимости от типа литосферных блоков, участвующих в процессе столкновения,

различают и виды взаимодействий в системе островная дуга—островная дуга, островная дуга—континент, континент—континент. Считается, что «настоящий» ороген возникает при взаимодействии континент—континент, когда вдоль конвергентных границ формируются складчатые области, представляющие собой спаянную мозаику микроконтинентов, островных дуг и древней океанической коры. Этот вид взаимодействия принято называть собственно коллизионным в отличие от остальных случаев, когда в соприкосновение с континентом приходят отдельные, не принадлежащие ему блоки (террейны) и его называют просто столкновением, а возникшие орогены считаются незавершенными (недоразвитыми). Амальгамацией обычно называется сочленение разрозненных блоков в океане перед столкновением их с континентом. Орогенные процессы сопровождаются интенсивным проявлением складчатых и разрывных деформаций, региональным метаморфизмом, магматизмом и горообразованием.

Геодинамические обстановки зоны скучивания океанической коры

Зоны скучивания океанической коры, как орогенные структуры выделяются не всеми специалистами. Нами вслед за Г. С. Гусевым к ним отнесены структуры с надвиговым и покровно-шарьяжным строением, сложенные офиолитами и перекрывающими их океаническими осадками. Чаще всего они возникают в спрединговых окраинных морях, тыловодужных бассейнах на глубинах более 2 км. В процессе скучивания породы подверглись интенсивному динамометаморфизму. Близкие обстановки могут возникать на аббисальных равнинах, при закрытии пул-апарт бассейнов и на участках сжатия трансформных разломов. Примером геодинамических обстановок подобного типа могут служить острова Фиджи, Новая Каледония, Южный Урал.

В черносланцевых толщах могут быть обнаружены проявления золота, урана, вольфрама, молибдена, ванадия, а в участках повышенного метаморфизма — кианитовые сланцы. В зонах скучивания океанической коры встречаются также тектонически перемещенные месторождения полезных ископаемых, сформированных в иных предшествующих геодинамических обстановках субдукционного класса (например, колчеданные и др.)

Геологические формации: яшмовая, красных желваковых известняков, известняково-кремнисто-глинистая турбидитовая, карбонатно-кремнисто-глинистая, карбонатно-туффитовая, аспидная, флишевая, базальтовая, дунит-габбровая, габбровая, дунит-гарцбургитовая, габбро-долеритовая.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая джазпероидная), терригенная сероцветная (киноварная аргиллизитовая), терригенно-карбонатная углеродистая (золото-углеродистая), контрастная базальт-риолитовая (медно-цинковая колчеданная), непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая (медно-цинковая колчеданная), перидотитовая (метациннабарит-киноварная листовенитовая), дунит-перидотитовая (хромитовая).

Геодинамическая обстановка столкновения островной дуги с континентом

При сближении континентальной плиты с пассивной окраиной атлантического типа и островной энсиматической дугой происходит закрытие окраинного моря и плавучесть континентальных пород начинает препятствовать дальнейшему продвижению плит. Отложения, сформировавшиеся на пассивной окраине, шельфе, континентальном склоне и континентальном подножие, срезаются надвигающейся островной дугой, превращаются в чешуи и вместе с надвинутыми на них флишем и океанической корой начинают двигаться в сторону континента. Пример подобного развития орогена столкновения островной дуги с континентом можем наблюдать на северной окраине о-ва Новая Гвинея (Дж. Дьюи, Дж. Берд, 1974; Э. Митчелл и Дж. Белл, 1981; Основы ..., 1995).

Тип орогена — новогвинейский. Его возникновение можно рассматривать как наиболее поздние стадии развития островной дуги, когда она окончательно присоединяется к континенту, или как раннюю стадию континентальной коллизии (аккрецию). Примеров развития орогенов столкновения островной дуги с континентом по описанному сценарию немного, одним из которых может служить Новогвинейский ороген.

Под надвинутой островной дугой может выплавляться палингенная гранитная магма, которая является источником медно-порфировых, скарновых меднорудных, золоторудных месторождений. Кроме того, в начальные стадии столкновения

со стороны континента в передовых прогибах в связи с молассовыми пестроцветными отложениями образуются медистые песчаники, а в песчано-глинистых, содержащих повышенное количества углеродистого вещества — каменные угли, нефть и газ.

Геологические формации: могут присутствовать геологические формации энсиматических и энсиалических островных дуг, задуговых бассейнов и океанической коры.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: молассовая пестроцветная (медистых песчаников), песчано-глинистая углеродсодержащая (каменноугольная, нефтегазоносная), андезит-дацитовая (золото-серебряная), диорит-гранодиоритовая (медно-порфировая), габбро-диоритовая (медно-железорудная скарновая).

Геодинамические обстановки зон столкновения микроконтинентов с континентом

При образовании орогенов столкновения энсиалической дуги с континентом возникают крупные зоны надвигов офиолитовых пластин на континентальную кору. Эти орогены называют часто зонами обдукции или надвиговыми поясами. К ним можно отнести офиолитовые покровы Северных Апеннин, Новой Гвинеи, Новой Каледонии и др. Образуются они при закрытии спредингового окраинного моря в результате столкновения микроконтинента с континентом. При столкновении в начальную стадию в окраинном море могут образовываться невулканические островные дуги, сложенные офиолитами.

Примером современного развития орогена подобного типа может служить, по-видимому, столкновение Японского микроконтинента с континентом Евразии, область Восточного Средиземноморья. В качестве примера более древних орогенов можно назвать зоны западного склона Урала (Сакмарский покров), покровы Полярного и Южного Урала.

Коллизионные орогены столкновения микроконтинента с континентом называют еще орогенами незавершенного развития, имея ввиду, что возникшие покровы офиолитов в последующей коллизии континента с континентом превращаются в зоны крупных шарьяжей. Геодинамические обстановки столкновения обоих типов островных дуг (энсиалических и энсиматических) с континентом имеют, по-видимому, много общего. Сходны и возникающие в них структурно-вещественные

комплексы с сопутствующим оруденением. Поэтому далеко не всеми исследователями они выделяются как самостоятельные типы орогенов. Отличием между ними, на наш взгляд, является присутствие в зоне коллизии микроконтинентов, а также степень «продвинутости» процесса коллизии.

В зоне скупивания терригенные и карбонатные отложения подверглись значительному динамотермальному метаморфизму с выплавкой анатектических гранитов. С ними связаны секреторно-метаморфические и регенерированные золоторудные, грейзеновые и жильные оловорудные и другие месторождения. Не исключается присутствие также и оруденения, возникшего в предшествующих коллизионных и субдукционных обстановках и тектонически перемещенного в зону столкновения микроконтинента с континентом. К ним можно отнести хромшпинелиды, связанные с породами офиолитовой ассоциации, колчеданные — в связи с базальтовым вулканизмом. Примеры месторождений, образованных в остаточных бассейнах в случае косо́й коллизии наряду с другими, связанными со стратифицированными комплексами, рассмотрены в классическом орогене столкновения континент—континент.

Геологические формации: могут присутствовать геологические формации задуговых бассейнов, энсиматических и энсиалических островных дуг, океанической коры.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая джазпероидная), базальт-липаритовая (уран-молибденовая), гранит-лейкогранитовая (касситерит-кварцевая грейзеновая), аляскитовая (вольфрамит-кварцевая грейзеновая), диорит-гранодиоритовая (золото-кварцевая), перидотит-серпентинитовая (метациннабарит-киноварная листовенитовая).

4. Геодинамические зоны столкновения континентов (Складчато-надвиговые орогенические области)

Коллизионная обстановка континент—континент представляет собой конечную стадию развития орогенов, и в их характеристике в настоящее время существуют различные точки зрения. В «Основах металлогенического анализа при геологическом картировании, 1995» [7] предлагается выделять два типа орогенов: гималайский и кавказский. Гималайский ороген столкновения происходит в условиях, при которых одна

из плит несущей ороген кордильерского, андского или западно-тихоокеанского типа сталкивается с пассивной окраиной континента и надвигается на нее. При возникновении орогена кавказского типа происходит столкновение двух активных континентальных окраин, под каждой из которых может образоваться зона субдукции, в которой поглощается плита с океанической корой. Позже может сохраниться под более крупной и легкой плитой одна зона субдукции.

В работе «Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок» [6] возникшие в процессе столкновения континентов покровно-складчатые области разделяются на три типа: коллизионные, аккреционно-коллизионные и аккреционно-коллизионно-активноокраинные.

Коллизионные области представляют собой ороген столкновения пассивной окраины с континентом, микроконтинентом, составным террейном, в надсубдукционной зоне — пронизанной интрузиями коллизионных гранитоидов и перекрытой осадочными впадинами. Коллизионный вулканизм практически отсутствует (Верхояно-Колымская область и др.).

Аккреционно-коллизионные области — все остальные, кроме активно-окраинных приокеанических (Кавказская, Уральская, Колымско-Омолонская и др.)

Аккреционно-коллизионно-активноокраинные области расположены в переходных между континентами и океанами поясах и образовались путем аккреции террейнов различной геодинамической природы (Алтае-Саянская, Байкало-Витимская, Охотско-Чукотская, Корякско-Камчатская и др.).

Покровно-складчатые области в разрезе разделяются на структурные этажи и ярусы, а по латерали — на внешние надвиговые, внутренние сдвиго-надвиговые и внутренние надвиговые системы. По времени формирования выделены раннеколлизионные, позднеколлизионные, постколлизионные и повторноколлизионные.

А. Митчелл и М. Гарсон в обстановке столкновения континентов предлагают выделить ряд структур с характерным набором структурно-вещественных комплексов и своей минерагений: остаточные и унаследованные бассейны, бассейны поддвигающейся плиты, надвиговый пояс поддвигающейся плиты, сутурная зона, окраина надвигающейся плиты, бассейн надвигающейся плиты, а также межгорные трюги подвинутых и надвинутых дуг, рассмотренных нами в классе

постколлизийных обстановок. Перечисленным структурам соответствует зональный ряд минерагенических зон.

В обстановке столкновения континент–континент многие исследователи выделяют последовательно развивающиеся латеральные структуры: форланда с надвиговым поясом, хинтерланда и разделяющую их сутурную зону. Своеобразными аккумулятивными обстановками коллизийных областей являются остаточные (внутренние) бассейны, межгорные впадины, краевые прогибы, вулканоплутонические зоны. Завершается ороген образованием наложенных коллизийных и литосферногенерированных рифтов.

При региональном минерагеническом анализе крупных территорий и определении критериев их рудоносности является важным изучение состава и мощности фундамента земной коры. Однотипные по своему формационному набору минерагенические зоны могут отличаться в зависимости от салического или мафического состава фундамента [160]. Установлено, что в минерагенических зонах скучивания океанической коры фундамент мафический, зон столкновения островной дуги с континентом — салический и салически-мафический, зон столкновения микроконтинента с континентом — мафический и салический, зон столкновения континента с континентом — салический, так же, как и в структурах постколлизийных обстановок.

По А. С. Егорову, коллизийные орогены характеризуются следующими особенностями:

- литосферный уровень организации, устанавливаемый по данным сейсмотомографии и другим методам исследований;

- утолщение земной коры вплоть до удвоения мощности и ее изостатический подъем;

- широкое развитие волноводов, определяющих многослойную структуру континентального основания орогена, заложение глубинных надвигов с развитием крупных тектонических структур;

- продольная зональность региональных аномалий гравитационного и магнитного полей, в составе которых отмечается чередование локальных линейных аномалий;

- хорошо выраженная продольная зональность, выраженная в смене деформированной окраины поддвигающейся плиты (форланд) на деформированную окраину перекрывающей плиты (хинтерланд) и разделяющую их сутурную зону.

По геолого-геофизическим данным, в зависимости от типа орогена, устанавливаются следующие мощности земной коры: в зонах скупивания океанической коры — 15 км, в зонах столкновения островной дуги с континентом салического типа фундамента — 40 км, салически-мафического — 15–20 км, в зонах столкновения микроконтинентов с континентом — мафического типа фундамента — 13–15 км, салического — 40 км, в зонах столкновения континента с континентом — салического типа фундамента, выполненного согласными стратиграфическими комплексами — 30–40 км, секущими комплексами — 40–50 км, в зонах постколлизийных геодинамических обстановок — 40–50 км.

Значительное разнообразие орогенных структур, выполненных различными структурно-вещественными комплексами, объясняет наличие в их пределах широкого спектра полезных ископаемых различных формационных типов. Кроме того, следует отметить, что в орогенах столкновения континентов могут присутствовать тектонически перемещенные структурно-вещественные комплексы и месторождения полезных ископаемых, сформированные в других геодинамических обстановках: СОХ, островных дуг. По Р. Г. Ибламинову, наиболее продуктивными в отношении развития полезных ископаемых являются остаточные бассейны, краевые и межгорные прогибы и наложенные впадины.

В остаточных бассейнах (Черноморский, Азовский, Каспийский), выполненных преимущественно глубоководными породами флишоидного облика, дельтовыми отложениями, накапливаются россыпи титана, циркона, магнетита, формируются залежи бокситов. Среди хемогенных отложений образуются скопления солей, оолитовых железных и марганцевых руд (Керченский бассейн).

В бассейнах поддвигающейся плиты (форланде), заполненных преимущественно молассовыми осадками, содержатся залежи углей, в Пиринеях в неогеновых отложениях — эвапориты, стратиформные залежи меди. Также отмечаются инфильтрационные урановые концентрации в песчаниках неогенового бассейна Пакистана и Индии.

В надвиговых поясах форланда, сложенных главным образом породами предшествующих спредингового и субдукционного режимов, следует ожидать эндогенные концентрации полезных ископаемых этих геодинамических обстановок. Кроме

того, с коллизионными гранитоидами S-типа связаны слабая оловянная и урановая минерализации.

В сутурной зоне, отделяющей поддвигающуюся плиту от надвигающейся, обычно выведены на поверхность блоки океанической коры и сформированные в спрединговом режиме тела хромшпинелидов, колчеданных руд. Широко представлены глубокоководные отложения, олистостромы, тектонический меланж, в обломках которого встречаются глубоко метаморфизованные породы с жадеитом и нефритом.

Окраина надвигающейся плиты (хинтерланда) содержит структурные элементы внешней и магматической дуг с соответствующими полезными ископаемыми, сформированными в предшествующем субдукционном режиме.

Из материалов указанных авторов следует, что интрузивный коллизионный магматизм проявился в надсубдукционных зонах в ограниченных объемах и представлен главным образом гранит-гранодиоритовой, гранит-лейкогранитовой и аляскитовой формациями. Остальные интрузивные образования находятся в тектонически перемещенном положении. Вулканический коллизионный магматизм проявлен слабо. С дацит-риолитовыми вулканитами связаны отдельные проявления золота, сурьмы, ртути, олова и полиметаллов. Гранит-гранодиоритовая, диорит-гранодиоритовая и габбро-диорит-гранодиоритовая формации и связанные с ними полезные ископаемые образовались, по-видимому, в более ранних геодинамических обстановках, возможно, на коре переходного типа и меньшей мощности.

Геологические формации: могут присутствовать геологические формации активных и пассивных окраин (гималайский тип орогена), активных окраин (кавказский тип), океанической коры, энсиматических и энсиалических островных дуг.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: песчано-галечная (титано-циркониевая россыпная), пестроцветная терригенно-карбонатно-глинистая битуминозная (медистых сланцев), сульфатно-карбонатная (серная, ратовкитовая), песчано-глинистая (марганцевая оксидная), сульфатно-известняковая (марганцевая карбонатная), известняково-доломитовая (свинцово-цинковая), глинисто-песчаная (оолит-бурожелезняковая), углеродисто-карбонатная (барит-свинцово-цинковая), кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая джаспероидная), карбонатно-тер-

ригенная угленосная (каменноугольная), терригенная моласовая (нефтегазоносная), дунит-перидотитовая (хромитовая), диорит-гранодиорит-лейкогранитовая (касситерит-скарновая, касситерит-силикатная турмалин-хлоритовая), гранит-гранодиоритовая (касситерит-сульфидная пропиловитовая), диорит-гранодиоритовая (золото-кварцевая), лейкогранитовая (редкометалльных пегматитов, редкометалльных гранитов, касситерит-кварцевая грейзеновая), аляскитовая (редкометалльных грейзенов), габбро-диорит-гранодиоритовая (молибден-меднопорфировая).

Постколлизийные геодинамические обстановки

В настоящее время нет единого подхода в выделении постколлизийных геодинамических обстановок, в понимании их природы, структурно-вещественного наполнения, латеральных и временных границ. В работе А. С. Егорова к ним отнесены литосферно-генерированные (пассивные) рифты на хинтерланде, прилегающих к платформе, и коллизийные рифты форланда.

В работе «Металлогения рядов...» [94] в развитии покровно-складчатой области вслед за раннеколлизийной (догранитной дислокационно-метаморфогенной) и позднеколлизийной (гранитной) выделяется постколлизийная стадия (коллизийного коллапса) и стадия повторной тектонической коллизии. При коллизийном коллапсе практически отсутствует магматическая деятельность и образуется относительно узкий спектр полезных ископаемых, приуроченных главным образом к крупным разломам предыдущих стадий тектонического раздавливания. Область переходит в режим тектонического растяжения. В повторноколлизийную стадию, по мнению авторов, формируются межгорные впадины с молассой и углями. Происходит внедрение высокоглиноземистых низкощелочных сподуменовых и литий-фтористых гранитов.

В «Основах металлогенического анализа...» [126] некоторые рудоносные и рудные формации, образовавшиеся в эту стадию, отнесены к внутриплитной активизации (горячих точек).

В книге «Рудоносность и геологические формации...», 1981» [160] авторы в эпигеосинклиальный этап развития регионов выделяют собственно орогенную стадию, следующую непосредственно за геосинклиальной, и стадию повторного

орогенеза, наступившую после относительной стабилизации и отнесенную к тектоно-магматической активизации (автономной активизации) наряду с зонами рифтогенеза. Геологические и рудные формации обеих орогенов образуют сходные латерально-временные ряды и имеют сходные закономерности размещения в них месторождений полезных ископаемых.

Кроме перечисленных выше постколлизийных орогенных обстановок эпигеосинклинальных режимов, некоторыми исследователями предлагается выделять орогенные обстановки эпиплатформенных режимов (зон внутриплитной активизации), находя между ними существенную разницу, выраженную в приуроченности последних к сиалическому основанию с сокращенной (до 40–42 км) мощностью земной коры, отсутствии покровно-шарьяжных и чешуйчато-надвиговых структур, антидромной направленности вулканизма, более щелочного по составу гранитоидного магматизма корово-мантийного происхождения и др. В значительной мере эти геодинамические обстановки соответствуют зонам тектоно-магматической активизации в понимании А. Д. Щеглова (1980) и отчасти структурам, возникшим в зонах «горячих точек».

По Р. Г. Ибламинову, группа геодинамических обстановок эпигеосинклиналей (постколлизийных структур) может включать два класса режимов: плитный и тектономагматической активизации. В течение плитного режима молодая платформа проходит трансгрессивную, инундационную, регрессивную и эмерсивную стадии развития. Более длительный плитный режим иногда осложняется периодами тектономагматической активизации, которая включает обстановки горячих точек, континентальных и межконтинентальных рифтов.

Тектоно-магматическая активизация складчатых областей кроме плитного режима включает сменяющий его рифтогенный, проявленный в условиях растяжения (тафрогенная стадия). Образовавшиеся грабены заполняются континентальными образованиями, чередующимися с базальтами. Продуктивными осадочными формациями являются пестроцветная меденосная и терригенная угленосная. При тектоно-магматической активизации внедряются малые интрузии гранитоидов, с которыми ассоциируют грейзеновые олово-вольфрамовые и низкотемпературные золото-серебряные и сурьмяно-ртутные месторождения.

В результате коллизий, протекающих в соседних регионах, эпигеосинклинальная область затем может снова перейти в режим орогенеза, в котором отсутствуют, по В. Е. Хаину и М. Г. Ломизе (1994), продукты интрузивной магматической деятельности, хотя могут присутствовать базальтоидный и щелочно-базальтоидный вулканизмы. Характерны проявления горячих водных источников.

Геологические формации: наиболее часто присутствуют группы формаций эпигеосинклинальных и эпиплатформенных бассейнов, зон тектоно-магматической активизации (горячих точек) и рифтов.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: плитного режима эмерсивной стадии — латеритная (кобальт-железо-никелевая), терригенная группа (золотоносных россыпей, оловоносных россыпей, урановая инфильтрационная), дунит-перидотитовая зон гипергенеза (платиноносных россыпей); трансгрессивной стадии — песчано-глинистая прибрежно-морская (циркон-рутил-ильменитовая россыпная, марганцевая оксидно-карбонатная), карбонатно-терригенная пестроцветная (нефтегазоносная), стадии тектоно-магматической активизации (зон рифтогенеза): терригенная угленосная (буроугольная), карбонатно-терригенная пестроцветная (медистых песчаников), кремнисто-карбонатная (киноварная флюорит-антимонитовая, джаспероидная), андезит-дацит-липаритовая (антимонитовая аргиллизитовая), андезитовая (золото-серебряная), лейкогранитовая (касситерит-кварцевая грейзеновая).

IV. Класс коротких систем спрединга (трансформных границ)

Геодинамические обстановки пул-апарт бассейнов

Минерагенические зоны, возникшие в геодинамической обстановке пул-апарт бассейнов, встречаются относительно редко и являются слабоизученными. Образуются они в режиме короткого спрединга протяженностью десятки километров при сдвиго-раздвигях. В зависимости от того, какую структуру пересекают трансформные разломы, над ними возникают геодинамические обстановки различного рода: на трансформных разломах 1-го рода — хребет–хребет, Калифорнийский залив, 2-го рода — хребет–дуга, оз. Иссык-Куль, 3-го рода —

дуга—дуга, Кайманский трог. Отличительными признаками обстановок пул-апарт палеобассейнов на континентальной коре можно назвать наличие на поверхности земли депрессий, зон локального щелочно-базальтового, бимодального вулканизма и повышенных тепловых потоков.

Наиболее типичной рудной минерализацией в пределах пул-апарт бассейнах являются редкометалльные эксгальциционно-осадочные месторождения урана, молибдена, олова. Основным критерием отнесения этих и других месторождений, сформировавшихся в данной геодинамической обстановке, можно назвать залегание их в терригенно-карбонатных толщах верхней части океанической коры. Предполагается, что в коротких зонах спрединга эксгальционные системы в отличие от островодужных, срединно-океанических и задуговых находятся на значительных глубинах (до 4—5 км) (Ковалев, 1988). Несмотря на указанные отличительные критерии, отнесение месторождений к пул-апарт бассейнам требует дальнейшего уточнения.

По мнению Р. Г. Ибламинова, для трансформных разломов характерны те же полезные ископаемые, что и для срединно-океанических хребтов. Особенно перспективны зоны их пересечений.

Геологические формации: гарцбургит-лерцолитовая, габ-бровая, перидотитовая, габбро-долеритовая, вулкано-кластическая, группа осадочных формаций СОХ.

Рудоконтролирующие и (в скобках) рудные формации: доломитовая (ниобий-редкометалльно-железородная), терригенная углеродистая (касситерит-кварцевая), песчано-глинистая (золото-антимонит-березитовая), алеврит-песчаниковая (золото-полиметаллическая), карбонатно-терригенная (касситерит-скарноидно-сланцевая), туфосланцевая (касситерит-сульфидная), базальтовая (шеелит-сульфидная кварцевая, редкометалльно-железородная, молибденит-шеелитовая скарноидная).

V. Класс внутриплитных обстановок

1. Геодинамические обстановки чехла платформ

Обстановки формирования осадочного чехла платформ принадлежат к классу стабильных геодинамических обстановок, имеющих некоторые сходные черты с абиссальными равни-

нами океанов. Принадлежат они к асейсмическим областям, занимают обширные площади и характеризуются устойчивым медленным осадконакоплением. Отличием между ними являются в первую очередь состав отложений чехла, строение и мощность земной коры. Платформы обладают мощной сиалической континентальной корой, достигающей 30–50 км.

Отложения чехла платформ характеризуются выдержанностью по простирацию, малой фациальной изменчивостью, относительно небольшой мощностью и мелководностью условий осадконакопления. Средняя мощность отложений чехла древних платформ составляет 3–5 км, достигая максимальной в 10–12 км во впадинах.

В зависимости от тектонических режимов (сжатия, растяжения) в развитии осадочного чехла С. Н. Бубновым в 1960 г. предложено выделять четыре стадии: трансгрессивную, инундационную, регрессивную и эмерсивную.

В трансгрессивную стадию формируются континентальные, прибрежно-морские и морские отложения. С прибрежно-морскими сланцево-песчаными осадками ассоциируются раннепалеозойские ракушечные фосфориты Прибалтийско-Ладожского бассейна, с песчано-глинистыми — бокситы, титанциркониевые россыпи и оолитовые железные руды (Тимань, юг Украины). В континентальных сероцветных терригенных отложениях раннего мезозоя Верхнекамской впадины обнаружены залежи сидеритов и углей. В условиях аридного климата в среднем палеозое образовались соленосные отложения Московской и Балтийской синеклиз. Терригенные формации трансгрессивной стадии перспективны на нефть и газ.

Инундационная стадия характеризуется отложением глубоководных морских терригенно-карбонатных отложений, чередующихся во время регрессий с терригенными континентальными осадками. Морская раннепалеозойская глинисто-карбонатная формация содержит горючие сланцы Прибалтийского бассейна, глауконит-песчаные отложения являются продуктивными на фосфориты, а органогенные известняки содержат залежи нефти. Во время перерывов и смены морского режима континентальным формируются терригенные отложения. В подобной фациальной обстановке образовался песчано-глинистый боксит-угленосный комплекс в визейском ярусе Русской платформы, континентальные залежи бокситов Тихвинского бассейна, бурых углей Подмосковского

бассейна. Также могут быть перспективными на нефть толщи карбонатных пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами.

В регрессивную стадию накапливаются главным образом лагунно-континентальные и лагунно-морские осадки, с которыми связано формирование эвапоритовых галогенных формаций — гипсов, каменных, калийных и магниевых солей, залежей боратов и серы (Прикаспийская, Днепровско-Донецкая впадины). К внутренним и краевым прогибам приурочены также песчано-глинистые отложения, содержащие угли (Печорский бассейн). В переменных трансгрессивно-регрессивных обстановках образовались песчано-глинистые отложения с прибрежно-морскими россыпями титана и циркона (Среднее Приднепровье), янтаря (побережье Балтийского моря) и хемогенных марганцевых руд Южно-Украинского бассейна.

На эмерсивной стадии развития чехла платформ формируются преимущественно континентальные терригенные отложения, с которыми связано образование определенных типов полезных ископаемых. Так, в связи с пестроцветной карбонатно-терригенной формацией отмечаются месторождения медистых песчаников, в озерно-лагунных фациях — сидерита, в прибрежно-морских отложениях — месторождения оолитовых железных руд (Керченский полуостров). Для эмерсивной стадии характерно развитие континентальных кор выветривания и связанных с ними бокситовых, марганцевых и железных руд (Курская магнитная аномалия).

При формировании осадочного чехла платформ можно выделить три главные группы структурных обстановок, влияющих на образование полезных ископаемых — пологие водораздельные пространства (антеклизы, щиты), континентальные бассейны (синеклизы, авлакогены) и долины рек.

Основные ресурсы углеводородов размещены в осадочном чехле платформ и приурочены к этапам устойчивого прогибания фундамента. Зоны нефтегазоносности характеризуются большой мощностью чехла, отсутствием крупных региональных несогласий и повышенной скоростью осадконакопления. Наиболее крупные нефтеносные залежи пространственно тяготеют к крупным сводовым и валообразным поднятиям или бортовым зонам синеклиз.

Угленосные отложения представляют собой крупный циклически построенный комплекс преимущественно континен-

тальных фаций, значительно обогащенных растительной органикой и приуроченных к определенной палеотектонической структуре. Это в первую очередь внутриплатформенные и краевые прогибы, моноклинальные склоны, авлакогены и синеклизы.

Геологические формации: наиболее широко представлены группы формаций — терригенная (сероцветные и пестро-красноцветные), терригенно-карбонатная (сероцветные и пестроцветные), карбонатная (главным образом известняковые или доломитовые формации), кремнистая и галогенная.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: карбонат-сильвин-галитовая (карналитовая), пестроцветная терригенно-сульфатная (целестиновая), сульфатно-карбонатная (целестин-баритовая), органногенно-осадочная (органногенно-песчаниковая детритовая редкоземельная), карстово-карбонатная рифогенная (свинцово-цинковая), карстово-карбонатная слоистая (свинцово-цинковая), углеродисто-карбонатная, (барит-свинцово-цинковая), пестроцветная терригенно-карбонатно-глинистая битуминозная (медистых сланцев), пестроцветная карбонатно-терригенная (медистых песчаников), песчано-глинистая морская (циркон-монацит-касситерит-ильменитовая россыпная), песчано-гравийная прибрежно-морская (золотоносных россыпей), песчано-гравийная аллювиальная (золотоносных россыпей), песчано-галечная (титан-циркониевая россыпная), гравийно-галечная прибрежно-морская (алмазоносных россыпей), терригенно-карбонатная (нефтегазоносная), терригенно-карбонатная угленосная (каменноугольная).

2. Зоны активизации

2.1. Геодинамические обстановки горячих точек

Горячей точкой принято считать относительно изометричные площади проявления базальтоидного и щелочно-базальтоидного магматизма с размером в поперечнике 50 км и более, возникших в пределах плит с континентальной корой. К структурам, сформированным в обстановках горячей точки, можно также отнести цепи вулканических островов, подводных гор и плато, находящихся на плитах с океанической корой. Они рассматриваются как участки подъема мантийных плюмов. В некоторых случаях под горячей точкой понимается проявление

внутриплитной магматической активности, обусловленной процессами в верхней мантии, а мантийный плюм — процессами нижней мантии. Статистически подсчитано, что плюмы и горячие точки чаще всего приурочены к дивергентным границам плит. Зарождение мантийных плюмов и горячих точек обычно приводит к предрифтовому тектоническому режиму, хотя они разорваны во времени. Причину существования горячих точек объясняют медленным перемещением литосферной плиты над мантийным плюмом, что обуславливает развитие в ней очагов магматизма. На поверхности земли с этими процессами связывают области высокой вулканической активности с продуктами щелочно-базальтового, трахитового состава, возникновение полей кимберлитов и интрузий гранитоидного состава. В качестве примеров позднекайнозойских проявлений горячих точек Митчелл и Гарсон (1984) приводят базальты Снейк-Ривер штата Айдахо, риолиты Йеллоустонского национального парка, оливиновые и щелочные базальты Таиланда. В качестве примера более древних горячих точек можно указать Кольскую щелочную провинцию с массивами агпайтовых сиенитов, интрузиями щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами. В целом магматические породы горячих точек характеризуются редкометально-редкоземельной геохимической специализацией.

Для областей развития горячих точек и мантийных плюмов характерно аномальное строение земной коры и мантии — пониженное значение скорости продольных волн в мантии, утонение земной коры и литосферы, радиально-концентрическая зональность в размещении магматических интрузий и разрывных нарушений.

Геологические формации: базальт-андезит-риолитовая, калиевых базальтов, трахириолит-трахибазальтовая, щелочных базальтоидов и фонолитов, щелочно-ультрамафическая натриевая с карбонатитами, щелочно-гранитовая, щелочно-ультраосновная натриевая и калиевая с карбонатитами.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: контрастная липарит-базальтовая (флюоритовая), трахибазальтовая (флюоритовая), кимберлитовая (алмазоносная), лейцит-лампроитовая (алмазоносная), карбонатитовая (ниобий-тантал-редкоземельная, апатит-редкометально-железородная), квальмитовая (ниобий-танталовая щелочно-земельная), дунитовая (родий-иридий-платиновая), перидотит-пироксенит-норитовая

(медно-никелевая сульфидная), агпайтовых нефелиновых сиенитов (нефелин-агпайтовая редкометаллическая), кальсилит-нефелин-сиенитовая (кальсилит-щелочно-полевошпатовая), анорогенных гранитов (олово-редкометаллическая), диорит-гранодиорит-лейкогранитовая (касситерит-скарновая, касситерит-силикатная турмалин-хлоритовая), гранит-лейкогранитовая, рапакиви-гранитовая (редкометаллическо-флюоритовая).

Геодинамические обстановки континентальных рифтов

Рифтогенные структуры развиваются на континентальных и океанических плитах, а также на дивергентных, конвергентных и трансформных границах плит. Континентальные (внутриконтинентальные) рифты относятся к дивергентной стадии развития литосферы (Восточно-Африканский рифт). Примером палеоструктур подобного типа может служить также Тунгусский рифт Сибирской платформы.

Внутриконтинентальные рифты представляют собой грабеноподобные структуры протяженностью сотни и тысячи километров. В плане рифты могут иметь коленчатый рисунок, конфигурация которого связана с развитием трехлучевых разломов. Ширина рифтов в среднем составляет 35–60 км. Главным структурным элементом внутриконтинентального рифта является рифтовая долина, заполненная осадочными и вулканогенными породами мощностью до 10–12 км. Среди осадочных образований встречаются преимущественно молассы, аркозовые песчаники, эвапориты, а также мелководные морские осадочные отложения. Количество вулканогенных пород колеблется в широких пределах. В отличие от океанических рифтов, где преобладают толеитовые базальты, для континентальных рифтов характерны щелочные базальтоиды и щелочно-салические породы. В Восточно-Африканском рифте встречаются наземные излияния щелочных и субщелочных базальтовых магм, чередующихся со щелочными основными и кислыми, т. е. для рифтов подобного типа характерны бимодальные вулканические серии. В зонах разветвления трехлучевых разломов в рифтовой долине можно наблюдать вулканы центрального типа с карбонатами. Наибольшую глубинность имеют интрузии кольцевого строения, сложенные щелочными породами ультраосновного и основного состава. В рифтовых зонах происходят крупные излияния базальтов на поверхность (траппов), внедряются расчлененные (дифференцированные) базитовые интрузии.

Большинство рифтовых зон являются структурами глубинного заложения, и их внутреннее строение устанавливается геолого-геофизическими методами. Под рифтами отмечается аномальное состояние мантии с пониженным значением скорости V_p (7,2–8,0 км/с) и плотности (менее 3,25 г/см³). В разрезе литосферы под рифтами отмечаются мантийные выступы, вытянутые вдоль рифтовых долин. В гравитационном поле континентальным рифтам соответствуют линейные максимумы шириной до 100 км, при наличии пород основного состава с магнетитом они фиксируются положительными магнитными аномалиями. Для них также характерен повышенный тепловой поток и малоглубинная сейсмичность. Кроме того, в рифтовых зонах уменьшается мощность земной коры и литосферы при увеличении мощности осадочного слоя.

С ранними стадиями развития зон рифтогенеза в связи с магматической деятельностью сформировались различные типы эндогенных полезных ископаемых. С базит-ультрабазитовыми интрузиями ассоциируют крупные медно-никелевые, платиновые и хромитовые месторождения, а также титаномagnetитовая минерализация, с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов — железо-титан-апатитовая и редкометалльная минерализация, с базальтовыми покровами — месторождения исландского шпата, драгоценных камней.

С поздними стадиями развития континентальных рифтов связаны полезные ископаемые, характерные для пассивных континентальных окраин и авлакогенов.

Геологические формации: осадочные — группа терригенных и терригенно-карбонатных формаций; plutонических комплексов — натриевых базальтов и риолитов, трахибазальтовая, долерит-пикритовая, верлит-габбровая, кимберлитовая, базальтовая, трахириолит-трахибазальтовая, шошинитовая, кальсит-нефелин-сиенитовая, нефелин-сиенитовая агпайтовая, перидотитовая, перидотит-габбровая, фойдитовая, щелочно-гранитовая, щелочно-ультрамафитовая калиевая с карбонатитами, щелочных базальтоидов и фонолитов.

Рудоконтролирующие и рудные (в скобках) формации: глинисто-песчаная (оолит-бурожелезняковая), пестроцветная карбонатно-терригенная (медистых печаников), пестроцветная терригенно-карбонатно-глинистая битуминозная (медистых сланцев), доломит-известняковая углеродистая (киноварная карбонатная), кремнисто-карбонатная (киноварная флюо-

рит-антимонитовая джаспероидная), перидотит-ортопироксенит-норитовая (платинометалльная расслоенных интрузий), оливин-габбровая (медно-никелевая сульфидная), гарцбургит-ортопироксенит-норитовая (хромитовая), карбонатитовая (цинк-уран-медная редкометалльная), габбро-долеритовая трапповая (железородная скарноидная магно-магнетитовая).

Глава 3. ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИ ПОСТРОЕННЫХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ И МИНЕРАГЕНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ПРИ ГМК

Под прогнозно-поисковой моделью рудного объекта (минерагенической зоны, рудного района, рудного узла, рудного поля, месторождения определенной рудной формации, формационного или промышленного типа) понимается его обобщенный искусственно созданный образ, воспроизводящий в более простом виде, по сравнению с природными рудными объектами, структуру, свойства, взаимосвязи и пространственные отношения между элементами моделируемого объекта. Обычно прогнозно-поисковые модели составляются в виде таблиц и (или) графических схем, при необходимости сопровождаемых текстовыми пояснениями [78, 93, 118, 148, 149, 152, 154, 174, 219].

Прогнозно-поисковые модели рудных объектов являются основой разработки технологии картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков применительно к конкретной площади проведения ГМК, а также комплексной интерпретации геологических, геофизических, геохимических, дистанционных материалов при решении всех главных задач ГМК — изучении минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения оруденения, выборе информативной системы критериев прогнозирования и непосредственно в процессе выделения перспективных площадей и оценке их прогнозных ресурсов [100].

Элементы объекта моделирования, отображаемые прогнозно-поисковой моделью, — рудный объект более низкого уровня по сравнению с моделируемым (объект прогнозирования или поисков) и контролирующие его геологические тела осадочного, осадочно-вулканогенного, плутоногенного, мета-

морфического происхождения, тектонические структуры, тела гидротермалитов, характерные особенности геохимических и геофизических полей, в том числе геохимические и геофизические аномалии. Наиболее важными в практическом плане являются связи между объектом прогнозирования и всеми остальными элементами модели, а также сопряженная рудно-геохимическая и гидротермально-метасоматическая зональность, в особенности ее вертикальная составляющая, которая может являться критерием прогнозирования рудных объектов, не выходящих на поверхность [100, 148, 149, 152, 154].

В общем случае прогнозно-поисковая модель носит комплексный (геологический, геофизический, геохимический) характер — помимо связей между собственно геологическими рудоконтролирующими и рудными объектами она также содержит их геофизические и геохимические характеристики или, по крайней мере (в тех случаях, когда эти характеристики невозможно конкретизировать), указания на информативные геофизические и геохимические признаки рудоконтролирующих геологических тел и объекта прогнозирования, в таблицах, в текстовой части, надписях на рисунках, в условных обозначениях или в любой иной форме. Вместе с тем, следует отметить, что главной составляющей модели все же являются именно связи между собственно геологическими рудоконтролирующими и рудными объектами, а также рудно-геохимическая, гидротермально-метасоматическая и другие виды зональности. Если эти компоненты рудной системы содержатся в модели, по ним всегда можно сделать основные выводы о комплексе методов, необходимых для изучения минерагенических факторов и поисковых признаков. При наличии данных по физическим свойствам геологических образований (элементов модели) составление специализированной геофизической модели методом решения прямой задачи геофизики является сугубо технической задачей. Что касается методов геохимических исследований, они (с учетом ландшафтно-геохимических условий изучаемой площади) однозначно определяются рудно-геохимической зональностью.

Важным требованием к модели является ее лаконичность, так как перегруженность модели второстепенными деталями затрудняет все операции с ней.

Иногда для того, чтобы не перегружать прогнозно-поисковую модель, ее сопровождают специализированными моде-

лями, например геофизическими или моделями зональности различных видов — рудно-геохимической, минералого-геохимической, гидротермально-метасоматической, петрофизической и др. Иногда такие модели разрабатывают в качестве самостоятельных и используют для решения ограниченного круга задач. В частности модели рудно-геохимической зональности и геофизические применяются при прогнозировании рудных объектов, не выходящих на поверхность, а также при оценке прогнозных ресурсов (главы 4 и 7).

Модель также должна быть достаточно конкретной с тем, чтобы ее можно было представить в цифровом виде, без чего ее невозможно использовать непосредственно при компьютерном прогнозировании [154, 174].

Система моделей объектов разных рангов какой-либо рудной формации, построенная таким образом, что рудные объекты более низкого ранга являются элементами модели более высокого ранга, рассматривается как иерархически построенная модель данной рудной формации [118, 149, 152, 154, 174 и другие работы]. В такой модели рудное тело является элементом модели месторождения или рудного поля, месторождение или рудное поле — элементом модели рудного узла или района, рудный район или узел — элементом модели минерагенической зоны и т. д. Внутреннее строение рудного объекта более низкого уровня в модели более высокого уровня не рассматривается (рассматриваются лишь его интегральные характеристики) или при необходимости затрагивается лишь в самых общих чертах. На следующем, более низком уровне этот объект становится объектом моделирования, что предполагает расшифровку его внутренней структуры, одним из элементов которой является рудный объект еще более низкого уровня со своими интегральными характеристиками и т. д.

При ГМК-500 главное значение имеют модели минерагенических зон и модели рудных районов (узлов), т. е. модели объектов изучения и объектов прогнозирования, при ГМК-200 — модели рудных районов (узлов) и модели рудных полей (месторождений) [100].

Для примера ниже приводятся иерархически построенные прогнозно-поисковые модели двух рудных формаций: трехуровневая (металлогеническая зона — рудный узел—месторождение) модель медно-порфировой формации (рис. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 и табл. 3.1 и 3.2), а также двухуровневая (рудный узел—

есторождение) модель молибденитовой калишпатолит-березитовой формации (рис. 3.5 и 3.6). Кроме того, на рис. 3.7 приведена специализированная модель рудно- геохимической и гидротермально-метасоматической зональности золоторудных месторождений жильнокварцевого типа, а на рис. 3.8 модель сопряженной рудной и минералого-геохимической зональности Кемпирсайского плутона, которая является типовой для рудоносных массивов дунит-гарцбургитовой формации [149, 152, 154].

При разработке этих моделей использованы результаты опытно-методических работ ВСЕГЕИ по прогнозированию не выходящего на поверхность оруденения, проводившиеся в Казахстане, на Южном Урале, в Восточном Забайкалье [149, 152, 154, 171, 174], материалы производственных организаций Севказгеология, Запказгеология, Нежинское ГУГП, Читагеология., Шахтаминский ГОК, Нерчинский ГОК и др., а также литературные источники (И. Г. Павлова, 1978, 1986; А. И. Кривцов и др. 1986; Lowell J. D., Guilbert J. M., 1970; Geoffroy I., Wignall T. K., 1973 и другие работы).

Прогнозно-поисковые модели рудных объектов в настоящее время применяются на практике для решения широкого круга задач при прогнозировании полезных ископаемых, в том числе при ГМК. На начальном этапе ГМК целесообразно либо подобрать модель (или модели) из числа уже существующих для профилирующих на площади рудных формаций либо они должны быть составлены исполнителями в течение подготовительного и (или) первого промежуточного камерального периода.

В обоих случаях первоначальные варианты моделей должны рассматриваться в качестве первого приближения и подвергаться корректировке в течение всего процесса ГМК и в особенности при изучения закономерностей размещения оруденения, а также исследований на эталонных участках. Модели применяются в течение всего процесса ГМК и по мере получения новой информации подвергаются корректировке. Корректировка прогнозно-поисковых моделей предназначена для их адаптации к конкретным условиям площади ГМК и особенностям проявления оруденения, так как рудные объекты любой рудной формации, наряду с общими для них признаками, в каждом регионе или рудном районе характеризуются особенностями, отличающими их от аналогичных объектов из другого региона или рудного района.

Необходимость адаптации модели к условиям конкретной площади работ очевидна уже потому, что рудоконтролирующие, в том числе рудовмещающие, образования, являющиеся элементами модели, должны быть соотнесены с конкретными геологическими телами (или типами геологических тел), закартированными на площади работ, а рудно-геохимическая и гидротермально-метасоматическая зональность может потребовать корректировки вследствие того, что явления телескопирования, обусловленные пульсационным характером процесса рудообразования, на разных рудоносных площадях могут быть выражены в разной степени, вплоть до образования обратной рудной, геохимической и гидротермально-метасоматической зональности.

Поскольку в процессе ГМК модель так или иначе должна подвергаться корректировке, при отсутствии полноценной прогнозно-поисковой модели, вполне целесообразно подобрать модель, которая не по всем параметрам отвечает понятию комплексной прогнозно-поисковой модели и уже в процессе корректировки совершенствовать ее.

Корректировка модели неразрывно связана с изучением закономерностей размещения прогнозируемых полезных ископаемых. Она требует тщательного, иногда многократного, визуального анализа с применением ГИС, путем совмещения тематических слоев, содержащих информацию обо всех известных проявлениях полезных ископаемых, потенциально рудоконтролирующих геологических телах, геофизических и геохимических полях, с целью установления пространственных связей рудных объектов со всеми закартированными геологическими телами, локальными особенностями, обнаруживаемыми на геохимических и геофизических картах, как составленных непосредственно по исходным данным, так и по результатам их математической обработки, например, тренд-анализа отдельных геохимических элементов или значений информативных главных компонент, различных трансформаций геофизических полей и др.

Другой метод изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и корректировки прогнозно-поисковых моделей — вычисление и анализ матрицы коэффициентов корреляции (пространственной связи) между всеми закартированными на площади ГМК рудными и потенциально рудоконтролирующими объектами любой природы (геологическими,

геофизическими, геохимическими и др.) с помощью специализированных программных средств. Этот метод подробно рассматривается в гл. 4.

В рассматриваемом варианте процесс построения прогнозно-поисковых моделей совмещается с процессом изучения закономерностей размещения оруденения; в результате ПМК и прогнозно-поисковая модель являются взаимно дополняющими способами представления исследованных закономерностей и неодинаково используются при решении других задач прогнозно-минерагенических исследований — выделении потенциально рудных объектов и оценке их прогнозных ресурсов. В частности прогнозно-поисковая модель, преобразованная в цифровую форму, применяется при компьютерных методах решения этих задач с помощью специализированных программных средств [154, 174].

Другой тип прогнозно-поисковых моделей, редко применяемый, но в некоторых случаях обладающий не меньшими прогностическими возможностями — модели рудоконтролирующих геологических образований различного иерархического уровня, основным содержанием которых являются связи между особенностями их геологического строения и контролируемые ими различными типами рудных формаций. Эти модели имеют большое значение в тех случаях, когда моделируемые геологические объекты, в зависимости от особенностей их состава, строения или уровня эрозионного среза характеризуются существенно различающимися вариантами рудоносности.

В качестве примеров таких моделей на рис. 3.9, *А, Б* приведена модель рудоносных вулканогенно-интрузивных поясов, а на рис. 3.10 — модель рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности в эндоконтактовой и надинтрузивной зонах гранитоидного плутона умеренных глубин [149, 154].

Модели типовых рудоносных вулканогенно-интрузивных поясов в фанерозойских складчатых областях мафического, салическо-мафического, мафическо-салического и салическо-го типов, а также рифтогенных — в областях докембрийской складчатости представлены на рис. 3.9, *А, Б* в виде схематических разрезов, на которых в пределах каждого пояса показана связь между структурными типами металлогенических зон и характером рудной минерализации.

При разработке модели использованы многочисленные литературные источники по металлогении, а также по результатам геолого-геофизических исследований глубинного строения земной коры (Е. М. Ананьева и др., 1971, Н. Г. Берлянд, 1983, 1987, 1989, 1993, 1995, А. А. Духовский, 2004, В. В. Иванов, 1976, А. И. Кривцов и др., 1991, А. М. Маревичев, 1983, К. А. Марков, В. А. Трофимов и др., 1981, К. А. Марков, Б. М. Михайлов и др., 1986, Г. И. Менакер, 1976, В.Н. Москалева, 1981, Е.А. Радкевич, 1987, Д. В. Рундквист и др., 1978, 1981, В. М. Рыбалка, 1976, Б. П. Рыжий, 1987, Н. А. Солодов, 1985, а также другие работы).

В пределах каждого из пяти типов вулкано-интрузивных поясов отмечается сходная закономерность — в вулканогенных (осадочно-вулканогенных) прогибах оруденение преимущественно сидерофильное и (или) халькофильное, а в их обрамлении — преимущественно литофильное.

При сопоставлении фанерозойских поясов различных типов отмечается закономерное изменение характера оруденения: в прогибах складчатых поясов мафического типа оруденение халькофильно-сидерофильное, салическо-мафического — сидерофильно-халькофильное, мафическо-салического и салического типов преимущественно халькофильное. Литофильный характер оруденения в обрамлении прогибов (на поднятиях) наиболее сильно выражен в складчатых областях мафическо-салического и салического типов. Зоны рифтогенеза областей докембрийской складчатости отличаются от всех остальных наиболее контрастным оруденением — в прогибах и зоне их сочленения с поднятиями оно сидерофильно-халькофильное, а на поднятиях носит ярко выраженный литофильный характер с ведущим значением редкометалльных и редкоземельных элементов.

В модели отображены также связи между рудной зональностью и зональностью глубинного строения земной коры.

Несмотря на то, что наиболее информативным показателем глубинного строения земной коры принято считать коэффициент основности земной коры β , равный отношению мощности базальтового слоя к сумме мощностей базальтового и гранитного слоев, для характеристики связей оруденения с глубинным строением земной коры при составлении модели в качестве основного показателя глубинного строения выбрана глубина до поверхности Конрада (Нк). Значения Нк, в отличие

от β , достаточно надежно определяются по данным гравиметрии, даже при отсутствии данных ГСЗ. Вместе с тем значения N_k и β отчетливо коррелируются между собой и каждый из них с достаточной для практических целей надежностью связан с рудной зональностью.

Приведенная на рис 3.10 модель рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности в эндоконтактовой и надынтрузивной зонах гранитоидного плутона умеренных глубин составлена по литературным данным (А. А. Беус, 1968; Н. Г. Бузкова, 1986; А. А. Долгушина, 1985; Б. И. Омеляненко, 1978; Д. О. Онтоев, 1984; В. Е. Плющев, В. В. Шатов; 1986, А. П. Пономарева и др., 1985; Ю. Н. Размахнин, Э. М. Размахнина, 1973; Д. В. Рундквист, И. А. Неженский, 1975; В. Л. Русинов, 1984 и другие работы) и по результатам собственных исследований, проводившихся в Тургайском прогибе, Западном Узбекистане, Восточном Забайкалье, во Вьетнаме [149, 152, 174, 229].

В конкретных рудных районах и узлах приведенная выше обобщающая модель зональности, как правило, реализуется в урезанном виде — некоторые из зон региональных гидротермалитов, а также рудно-геохимических зон редуцированы или отсутствуют, а промышленное оруденение чаще всего представлено одной или двумя (редко более) рудными формациями в одной или двух зонах региональных гидротермалитов. При этом зоны без промышленного оруденения могут содержать многочисленные рудопроявления, точки минерализации и (или) геохимические аномалии, либо проявляться только повышенным геохимическим фоном соответствующих рудных элементов.

Наиболее важным (но не единственным) фактором, определяющим преимущественное развитие или редуцированное проявление тех или иных рудно-геохимических зон, является основность рудоконтролирующего комплекса, выражающаяся в количественном соотношении лейкогранитов, гранитов, гранодиоритов, диоритов и габброидов.

Для комплексов с максимальным развитием гранитов и лейкогранитов характерно наиболее полное развитие оруденения в апогранитах и грейзенах в эндоконтактовой зоне и зоне ближайшего экзоконтакта. Для комплексов гранитоидов повышенной основности более типично скарновое и апоскарновое оруденение в зоне ближайшего экзоконтакта, а также в

пропилитовой зоне, где наряду со скарновым, широко развито многообразное оруденение, непосредственно контролируемое турмалин-хлоритовыми метасоматитами, фельдшпатолитами, березитами, вторичными кварцитами и аргиллизитами.

В целом отмечается статистическая закономерность, выражающаяся в том, что по мере перехода от щелочных гранитоидов к кислым и далее, к гранитоидам с повышенной основностью, все большее развитие получает оруденение во внешних, по отношению к контактовой поверхности плутона, зонах.

Глава 4. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ПРОЦЕССЕ ГМК

Общие положения

Комплексный характер исследований в процессе ГМК-500 и ГМК-200 создает возможность повышения достоверности результатов прогнозно-минерагенических исследований на основе использования значительного объема разноплановой информации — геологической, геофизической, геохимической, дистанционной и др. Эффективность ее обработки напрямую зависит от применения компьютерных технологий, их качества и методов использования.

Компьютерные технологии прогнозно-минерагенических исследований включают два взаимно дополняющих аспекта:

1. Проведение прогнозно-минерагенических исследований с применением стандартных ГИС (Arc View, Arc GIS и др.), позволяющих осуществлять визуальный анализ картографических материалов, путем совмещения в любых сочетаниях карт различного содержания (геологических, геофизических, геохимических, МДЗ и др.) с привлечением информации, содержащейся в атрибутивных таблицах, а также построение промежуточных графических документов и результирующей прогнозно-минерагенической карты (ПМК). Помимо технологических достоинств метода, его преимущество перед другими компьютерными методами в том, что специалист-геолог, проводящий исследование, контролирует каждую проводимую операцию и осмысливает ее результат. Метод позволяет осуществлять весь цикл традиционных прогнозно-минерагенических исследований без каких-либо ограничений и в настоящее время широко применяется на практике. Для полноценного использования больших объемов разноплановой геологической, геофизической, геохимической, дистанционной и другой

информации метод недостаточен, вследствие ограниченных возможностей визуального анализа.

2. Проведение прогнозно-минерагенических исследований с привлечением количественных методов прогнозирования на основе использования специализированного программного обеспечения, позволяющих при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых и выявлении объектов прогнозирования извлекать из исходных геологических, геофизических, геохимических, дистанционных и других материалов максимум полезной информации [72, 73, 77, 98, 154, 157, 174, 222, 223 и другой работы].

Количественные технологии прогнозирования не являются альтернативой традиционным геологическим методам прогнозирования, базирующимся на анализе связей между рудными и геологическими формациями (или выделенными на изучаемой площади породными комплексами формационного уровня), прежде всего потому, что такой анализ естественным образом вписывается в методологию количественных компьютерных исследований. Последние позволяют устанавливать пространственные связи между геологическими телами любой природы, в том числе не только очевидные, легко выявляемые при визуальном анализе, но и слабо проявленные, с количественной оценкой их достоверности (неслучайности). Вовлечение в анализ любого необходимого количества признаков — геологических, геофизических, геохимических, дистанционных и др. с количественной оценкой их достоверности и последующим отсевом недостоверных, возможность статистической оценки неслучайности полученных результатов увеличивают разрешающую способность и объективность результатов прогнозно-минерагенических исследований.

Вместе с тем, за пределами возможностей количественных компьютерных методов остаются опыт и интуиция специалиста-геолога, вовлечение в процесс прогнозирования концепций рудообразования, учет неоднозначности представлений о геологическом строении изучаемой площади, неодинаковой ее обогащенности и неравноценности изученности различных ее частей и другой информации, которая либо не поддается формализации, либо может быть использована при компьютерном прогнозировании ценой неприемлемого усложнения решаемой задачи.

В силу этих причин оптимальным вариантом компьютерного прогнозирования является сочетание количественных методов изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования и их выявления с неформальными прогнозно-минерагеническими исследованиями, проводимыми с помощью ГИС-технологий, предваряющими и завершающими все этапы количественного прогнозирования.

Формальное применение количественных методов прогнозирования, без геологического анализа постановки задачи, промежуточных и конечного результатов их применения, так же нерационально, как и игнорирование их возможностей.

4.1. Компьютерные технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и разработки прогнозно-поисковых моделей

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых и разработка прогнозно-поисковых моделей (или корректировка имеющихся) с помощью компьютерных технологий производится в перечисленной ниже последовательности.

1. Неформальный анализ исходных материалов и постановка задачи — выбор конкретных методов исследований и программного обеспечения, исходной совокупности анализируемых данных, размеров прогнозной ячейки.

2. Формирование специализированной базы данных (СБД), предназначенной непосредственно для проведения прогнозно-минерагенических исследований, применительно к типам полезных ископаемых, являющихся объектами прогнозирования при ГМК. СБД создается в основном путем копирования необходимой для этого части данных из основной базы данных и перевода их в тот формат, в котором предполагается их обработка.

3. Количественное исследование и статистическая оценка достоверности пространственных связей объектов прогнозирования с геологическими телами, тектоническими структурами, параметрами разреза земной коры (глубиной залегания поверхности Конрада и Мохоровичича, мощностью и средней плотностью вулканогенно-осадочного слоя, соотношениями мощностей гранулитобазитового и гранито-гейсового слоев и другими характеристиками, устанавливаемыми по геофизическим данным), элементами рудно-геохимической и гидро-

термально-метасоматической зональности, геофизическими аномалиями определенного типа, характерными элементами фотоизображения, выделенными по МДЗ, кольцевыми структурами, установленными по геофизическим данным или МДЗ, прямыми и косвенными поисковыми признаками и другими картируемыми признаками, содержащимися на геологических, геофизических, геохимических картах, МДЗ и др. (далее по тексту эти признаки для краткости именуются картируемыми).

4. Выявление статистически достоверных парагенезисов картируемых признаков (закономерно повторяющихся их сочетаний в разных частях изучаемой площади), контролирующих размещение объектов полезных ископаемых прогнозируемого типа. Этот этап исследований отличается от предыдущего тем, что исследованию и оценке достоверности подвергаются не только связи эталонных рудных объектов с другими картируемыми признаками, но и связи последних между собой, с выделением групп пространственно сопряженных признаков. Группа пространственно сопряженных признаков, включающая в себя тот или иной тип объектов прогнозирования, представляет собой парагенезис признаков, контролирующих рудные объекты этого типа. Она рассматривается как признаковая модель объекта прогнозирования и является исходной для формирования многопараметрического критерия его прогнозирования, а также используется при формировании или корректировке прогнозно-поисковой модели [154].

5. Неформальный содержательный анализ выявленных закономерностей и при необходимости проведение дополнительных компьютерных исследований для устранения выявленных противоречий или неточностей в полученных результатах. Такие недостатки в результатах компьютерных исследований могут появиться вследствие того, что применение количественных методов исследований, являющихся необходимым элементом компьютерной технологии, всегда сопряжено с потерей той или иной части информации, не поддающейся формализации, или с частичным ее искажением за счет неизбежных допущений при разработке алгоритмов или постановке конкретной задачи, решаемой с помощью того или иного алгоритма [174].

6. Формирование многопараметрических критериев прогнозирования и прогнозно-поисковых моделей на основе выявленных статистически достоверных парагенезисов карти-

руемых признаков, контролирующих размещение объектов полезных ископаемых прогнозируемого типа, с неформальным учетом данных, которые не могут быть непосредственно включены в процесс количественных компьютерных исследований, — наблюдений на отдельных обнажениях или в горных выработках над соотношениями геологических тел, являющихся элементами моделируемой рудной системы, результатов исследований на эталонных участках, результатов высокоточных выборочных лабораторных исследований вещественного состава рудоконтролирующих образований (см., например, модель, приведенную на рис. 3.8) и др.

Приведенная схема применима как при ГМК-500, так и при ГМК-200. Она также принципиально не отличается в случае разработки новых прогнозно-поисковых моделей и корректировки уже имеющихся, направленной на их адаптацию к конкретным условиям района поведения ГМК, хотя в последнем случае задача решается быстрее и проще. В обоих случаях на выходе — прогнозно-поисковая модель объекта прогнозирования в данном конкретном регионе (рудного района, зоны, узла при ГМК-500 или рудного поля, месторождения при ГМК-200) [154, 174].

Выявленные пространственные закономерности размещения объектов прогнозирования отображаются на ПМК, а многопараметрические критерии их прогнозирования и прогнозно-поисковые модели используются при выделении потенциально рудных объектов, в основном с применением компьютерных технологий (разд. 4.2).

В случае отсутствия на площади ГМК эталонных объектов полезных ископаемых, по приведенной схеме изучаются пространственные связи потенциально рудоконтролирующих образований с полями развития прямых или прямых и косвенных поисковых признаков, а критерии прогнозирования формируются по результатам проведенных компьютерных исследований, желательно с привлечением имеющейся прогнозно-поисковой модели.

Основными компьютерными методами изучения пространственных связей объектов прогнозирования с картируемыми признаками являются:

1. Визуальный анализ пространственных связей эталонных объектов прогнозируемого типа с картируемыми признаками с помощью стандартных ГИС (Arc View, Arc GIS и др.). Этот

неформальный компьютерный метод исследований должен предварять и сопровождать применение всех численных методов изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования, осуществляемых с помощью специализированных программных продуктов.

2. Использование алгоритмов и реализующих их программ, обеспечивающих возможность численного исследования и оценки достоверности пространственных связей объектов прогнозирования с картируемыми признаками. Существующее в настоящее время в геологической отрасли Российской Федерации программное обеспечение (разработки ВНИИГеосистем, ИМГРЭ, ВСЕГЕИ, ЦНИИГеолнеруд и других организаций [72, 77, 154, 157, 174, 222, 223, 224] позволяет решать широкий круг задач методного (ориентированного на изучение пространственных связей эталонных объектов прогнозирования с признаками, установленными по результатам геофизических, геохимических исследований, дистанционных зондирований) и комплексного (предназначенного для анализа пространственных связей эталонных объектов с картируемыми признаками любой природы) изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования.

3. Объемное компьютерное геолого-геофизическое и геохимическое моделирование конкретного объекта изучения (обычно рудного района, узла) до глубины, значительно превышающей глубину рентабельного освоения месторождений (5–7 км). Метод заключается в объемном геолого-геофизическом моделировании рудного района или узла, тесно увязанном с объемной реконструкцией его рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности, с последующим анализом объемных закономерностей размещения объектов прогнозирования (рудных полей, месторождений) с учетом рудоконтролирующих геологических образований, не выходящих на поверхность (установленных по результатам объемного геолого-геофизического моделирования [149, 174] (разд. 4.3). Примеры использования этого метода для объемного геолого-геофизического и геохимического моделирования минерагенических зон при мелкомасштабных прогнозно-минерагенических исследованиях в настоящее время неизвестны, хотя его применение, в частности при ГМК-500, представляется весьма перспективным.

Ниже в качестве примеров приводится характеристика программных комплексов, ориентированных на методное и комплексное исследование закономерностей размещения объектов полезных ископаемых и их прогнозирование.

Программный комплекс ГЕОПОЛЕ, разработанный в ИМГРЭ [77, 154 и другие работы], предназначен для обработки геохимической и геофизической информации (а также данных о рельефе современной поверхности) при прогнозно-минерагенических исследованиях всех масштабов. Результаты его работы могут использоваться непосредственно для прогнозирования рудных объектов разных рангов по геохимическим, геофизическим данным или по их совокупности, а также применяться в комплексе с другими данными (геологическими, МДЗ, иными, перечисленными выше) в составе многопараметрических критериев прогнозирования, формируемых по приведенной выше схеме компьютерного изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования. В случае использования результатов работы пакета программ ГЕОПОЛЕ при комплексном прогнозировании оптимальным образом решаются вопросы использования геохимических данных и, в качестве одного из эффективных вариантов, — геофизических. Другие варианты использования геофизических данных при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых, а также их методная интерпретация предусмотрены в программно-технологических комплексах ГИС-INTEGRO и СИГМа (разработки ВНИИГеосистем и ВИРГ-рудгеофизика), подробно охарактеризованных в работах [99, 222].

Геохимический модуль программного комплекса *ГЕОПОЛЕ* предназначен для обработки результатов площадного геохимического опробования с построением карты распределения геохимических ассоциаций, которые соответствуют: 1) аномальным геохимическим полям различного состава и интенсивности, 2) зонам рассеянной рудной минерализации с различной геохимической специализацией, 3) фоновым областям с различной геохимической специализацией. В настоящее время реализуемый программой метод обработки геохимических данных и представления ее результатов является одним из наиболее пригодных для использования при прогнозно-минерагенических исследованиях разного масштаба.

Основой алгоритмов программы является анализ пространственного распределения значений эвристических многомерных функций.

Эвристическая конструкция $TYPE(p,q)$ решает задачу деления территории на геохимически схожие области как фоновые, так и аномальные, в пределах которых сохраняются ассоциации, представленные ранжированными рядами, соответствующими (при оптимальном опробовании и достаточно добротных аналитических определениях) различающимся комплексам пород или наложенным процессам, в том числе и рудообразующим. Для этого при расчете и построении карты в сканирующем режиме на каждом шаге исследуются соотношения элементов и отслеживается неизменность состава геохимических ассоциаций по окрестным узлам сети (сохранение положения элементов в ранжированных рядах). При смене ассоциации проводится граница типа $TYPE(p,q)$. Внутри геохимически однородных областей значения $TYPE(p,q)$ тем меньше, чем меньше различаются нормированные содержания элементов в области с радиусом окрестности R около точки (p,q) .

Для анализа структуры аномальных областей используется эвристическая функция связи $SCAN(p,q)$. Значения ее в точке сети тем больше, чем больше коррелированных пар элементов в окрестности точки и чем выше концентрации этих элементов.

Области развития различающихся ассоциаций выделяются цветом, а интенсивность аномалий — плотностью изолиний. Конечный вариант геохимической карты представляет собой суперпозицию карт функций $TYPE$ и $SCAN$.

Для функции $TYPE(p,q)$ области, различающиеся типом ассоциаций, выделяемых при расчете с общим нормирующим вектором (например, значениями «кларков» по коре), где содержания всех элементов одновременно изменяются слабо, в первом приближении можно рассматривать в качестве областей развития неизменных пород с разными фоновыми характеристиками. В этом случае соответствующими подпрограммами выбираются точки, принадлежащие к каждой области отдельно, и уже по этим выборкам рассчитываются значения фоновых концентраций элементов дифференцированно для всех аналитически выявляемых разновидностей. В дальнейших расчетах при необходимости используется набор фоновых концентраций для нормирования всех выделяемых типов раздельно.

Для аномальных областей функции $SCAN(p,q)$ — областей с различающимися попарно координированными группами

элементов с высокими концентрациями, для определения этих групп к усредненной по области матрице координированности применяется процедура кластерного анализа.

При формировании файлов данных используется понятие информационных макетов. Под макетом понимается множество проб одной среды опробования, принадлежащей к одной площади, отобранных в одно время и проанализированных в одной лаборатории, в одном заказе.

Наиболее ответственной операцией при работе с программным комплексом является выбор нормирующих коэффициентов. От того, насколько верно заданы фоновые (нормирующие) параметры, в большой мере зависит правильность полученного решения.

На втором этапе работы программы осуществляется визуализация статистических характеристик элементов и редактирование гистограмм распределения, а также происходит вычисление значений минимального вектора. Во всех последующих итерациях происходит уточнение нормирующих коэффициентов. Как правило, их значения находятся в промежутке между медианой и средним.

На результирующей карте распределения геохимических ассоциаций выделяются: 1) аномальные геохимические поля (АГП) различного состава и интенсивности; 2) зоны рассеянной рудной минерализации (ЗРМ) с различной геохимической специализацией; 3) фоновые области с различной геохимической специализацией.

Геофизический модуль программного комплекса ГЕОПОЛЕ предназначен для разделения изучаемой территории на области распространения различных структурно-вещественных комплексов по геофизическим данным.

Классификация областей распространения различных структурно-вещественных комплексов по геофизическим данным базируется на методах и алгоритмах структурного анализа. Построение многоуровневой иерархической структуры данных осуществляется рекуррентным способом. На первом шаге исходное множество точек наблюдения (объектов — в терминах многомерного анализа) делится на небольшое число главных, самых обширных классов. На последующих шагах тот же алгоритм деления применяется к выделенным классам и т. д. В итоге исходный класс представляется в виде иерархической

многоуровневой структуры (древовидной структуры или дерева), которая развивается сверху вниз.

Технология прогнозно-металлогенических исследований на базе программного комплекса ГЕОПОЛЕ предусматривает возможность построения карты распространения комбинированных геохимико-геофизических классов, получаемой путем совместного анализа результатов работы геофизического и геохимического модулей, что позволяет выделить наиболее перспективные части площади [154].

Технология применялась при прогнозировании золотого, молибденового, оловянного и вольфрамового оруденения в Восточном Забайкалье в пределах площади листов М-49 и М-50, а также при прогнозировании месторождений алмазов в Беломорском районе [154].

Программный комплекс КОЛАН, разработанный в ЦНИИгеолнеруд [72, 73, 154], предназначен для линеаментного анализа космических снимков и определения связи линеаментных систем с рудными объектами при прогнозно-металлогенических исследованиях. Комплекс КОЛАН применяется при прогнозировании в рамках более широкой компьютерной технологии, с использованием факторного анализа и метода распознавания образов по космогеологическим, геофизическим и геолого-структурным признакам. По результатам распознавания образов в автоматизированном (компьютерном) режиме строятся прогнозные модели регионального и локального уровней (по программе КОЛАН).

Линеаментный анализ предусматривает три последовательных этапа проведения исследований:

- Линеаментное дешифрирование космических снимков.
- Формализация, заполнение базы данных и математическая обработка. Проводятся в автоматизированном режиме с помощью программной системы КОЛАН.

- Исследование закономерностей пространственного размещения линеаментов решает следующие задачи: а) выявление групп линеаментов преобладающих азимутальных направлений, б) выделение систем линеаментов и исследование соотношений образующих их групп и в) выделение регматической сети линеаментов, характерной для конкретного геологического цикла. Для решения этих задач выполняются статистические расчеты по всему объему отдешифрированного на космических снимках материала. Пространственная упорядоченность лине-

аментного поля определяется путем изучения распределения средних значений плотностей линеаментов по регулярной сети территории. В результате — на исследуемой территории определяется соответствие реальных линеаментов расчетной модели ортогонально-диагональной системы и устанавливается основной каркас линеаментного поля. Определение дискретности линеаментов основывается на операции группирования линеаментов одного направления в зоны сближенных линеаментов. Для этого все обширное поле линеаментов территории с помощью компьютерной программной системы КОЛАН трансформируется в сгруппированные системы линеаментных зон. Вывод результатов осуществляется в виде карт признаков полей линеаментов определенной системы в изолиниях. На этих картах затем устанавливаются осевые линии и боковые ограничения линеаментных зон, определяется ранговость и расстояние между зонами одного ранга. Принадлежность линеаментных зон к определенному рангу определяется его отношением к тектоническим структурам территории.

Для определения динамических свойств линеаментного поля выделяются палеодинамические поля тектонических напряжений и для тектоно-магматического (и рудного) цикла или его стадии определяется направление главного вектора сжатия или растяжения в развитии характерной для района крупной тектонической структуры. С учетом этого вектора строится расчетная тектоно-физическая модель разрывных структур (по Муди и Хиллу). Выбранные с помощью ранее проведенных операций системы линеаментов, характерные для исследуемой территории, сравниваются с расчетной моделью. Согласно ей, в реальной линеаментной сети устанавливаются основные линеаментные зоны, соответствующие векторам нормальных напряжений сжатия и растяжения и касательных напряжений левостороннего и правостороннего сдвига. Затем для каждого линеамента, входящего в систему, определяется его кинематика (раздвиг, взброс, сброс, сдвиги правосторонние и левосторонние). Таким образом, для исследуемой территории строится динамическая линеаментная модель для конкретного тектонического цикла или его стадии, которая представляет собой динамическую мегасистему с присущими ей зонами сжатия, растяжения и сдвига.

Для проверки модели на предмет динамической детерминированности ее элементов используется факторный и

регрессионный анализы. С их помощью могут быть рассчитаны сообщества линеаментных групп, обладающих внутренним единством (генетическим, динамическим или рудоконтролирующим).

Полученные сообщества, названные факторными системными комплексами (ФСК), подвергаются геологическому осмыслению. При аналитическом рассмотрении ФСК определяется динамический смысл факторов, которые интерпретируются как признаки, характеризующие: 1) противопоставление линеаментных систем различных структурных планов и глубинности их генераций, 2) комбинацию сателлитных линеаментных групп, сопровождающих динамическое развитие одного из главных направлений линеаментов, какой-либо сопряженности системы («динамопары»), 3) противопоставление друг другу двух главных направлений одной «динамопары», 4) определение связи линеаментных систем с рудными объектами.

Программный комплекс КОЛАН применялся при прогнозно-минерагенической оценке на алмазоносные кимберлиты Вилюйско-Мархининской тектоно-магматической зоны, а в ее пределах проводился локальный прогноз на площади Мало-Батуобинского кимберлитоносного района (разд. 4.4).

Программный комплекс ПРОТЕЙ (разработка ВСЕГЕИ) [100, 154, 174] реализует компьютерную технологию прогнозно-минерагенических исследований, включающую изучение закономерностей размещения рудных объектов прогнозируемого типа. Результатом изучения закономерностей размещения рудных объектов является выявление групп пространственно сопряженных признаков (представляющих собой парагенезисы признаков, контролирующих рудные объекты прогнозируемого типа).

Эти группы являются исходными для разработки или корректировки прогнозно-поисковых моделей, для формирования многопараметрических критериев прогнозирования, обеспечивающих выделение потенциальных рудных районов, узлов, а также рудных полей, в том числе не выходящих на поверхность.

Программный комплекс ПРОТЕЙ состоит из 15 взаимно увязанных программ, составленных на языке VBA и работающих в среде Excel, что предопределяет возможность разнообразной дополнительной обработки результатов средствами Excel, удобный обмен информацией с геоинформационными

системами Arc View, Arc GIS, ГИС INTEGRО и др., а также высокую степень доступности для пользователя.

Программы пакета рассчитаны прежде всего на обработку информации, содержащейся на картах геологического, геофизического, геохимического содержания и в материалах дистанционных съемок и соответственно на использование в качестве признаков неколичественных (дихотомических) переменных, принимающих значение 1 при наличии признака и 0 при его отсутствии. При необходимости использовать какую-либо переменную, имеющую количественное выражение, она преобразуется в одну или несколько дихотомических путем выделения одного или нескольких наиболее информативных интервалов. В рассматриваемой технологии в качестве признаков выступают любые картируемые объекты — геологические тела любой природы, в том числе различные гидротермалиты и рудные проявления разного состава, геофизические и геохимические поля, признаки непосредственно снимаемые с МДЗ, линейные или кольцевые структуры, выявленные в результате интерпретации результатов геофизических или дистанционных исследований, и др.

Программный комплекс ПРОТЕЙ состоит из четырех блоков.

Блок I — обеспечивает функционирование внутренней ГИС комплекса ПРОТЕЙ.

Реализуется с помощью программ ПРОТЕЙ-ГИС-1, ПРОТЕЙ-ГИС-2, ПРОТЕЙ-ГИС-3, ПРОТЕЙ-ГИС-4.

Эти программы наряду со стандартными ГИС (Arc View, Arc GIS) применяются для осуществления визуального анализа исходных данных, а также промежуточных и конечных результатов вычислений, проводимых с помощью программного комплекса ПРОТЕЙ. В отличие от стандартных ГИС объектом визуального анализа при использовании программ внутренней ГИС комплекса ПРОТЕЙ являются не геологические тела или другие элементарные объекты, показанные на картах различного содержания, а прогнозные ячейки, содержащие эти объекты (признаки), что упрощает визуальный анализ и в большей степени соответствует процессу компьютерного прогнозирования с применением комплекса ПРОТЕЙ.

Программа ПРОТЕЙ-ГИС-1 осуществляет построение карты распределения заданного признака, на которой цветом выделены ячейки, содержащие этот признак.

Программа ПРОТЕЙ-ГИС-2 производит распечатку строки значений всех признаков в выделенной на карте прогнозной ячейке.

Программа ПРОТЕЙ-ГИС-3 осуществляет построение карты попарного сочетания признаков. На построенной карте тремя разными цветами изображаются ячейки, содержащие каждый их двух признаков в отдельности, а также ячейки, в пределах которых содержатся оба признака.

Программа ПРОТЕЙ-ГИС-4 осуществляет построение карты распределения заданного комплексного признака, на которой цветом выделены ячейки, содержащие признак, представляющий собой сочетание нескольких признаков, заданное пользователем.

Блок II — обеспечивает углубленное исследование пространственных связей между картируемыми признаками любой природы (геологическими, геофизическими, геохимическими, дистанционными) и рудными объектами, с количественной оценкой их достоверности, при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых, разработке прогнозно-поисковых моделей или их корректировке целью их адаптации к условиям изучаемой площади (гл. 3), формировании комплексных (многопараметрических) критериев прогнозирования. Реализуется с помощью программ ПРОТЕЙ-1, ПРОТЕЙ-1А, ПРОТЕЙ-1Б, ПРОТЕЙ-1В.

Программа ПРОТЕЙ-1 вычисляет матрицу коэффициентов корреляции между картируемыми признаками любой природы и предназначена для количественного анализа пространственных связей между ними с оценкой их достоверности. Пороговое значение коэффициента корреляции вычисляется программой автоматически и зависит от количества объектов (ячеек).

Программа ПРОТЕЙ-1А сокращает исходную корреляционную матрицу по принципу исключения признаков, коэффициенты корреляции которых с целевым признаком (задаваемым пользователем) меньше порогового значения. Обычно в качестве целевого признака задается признак наличия рудного объекта прогнозируемого типа. В этом случае сокращенная матрица содержит все потенциально рудоконтролирующие признаки (значимо коррелирующиеся с рудным объектом прогнозируемого типа) и не содержит иных.

Программы ПРОТЕЙ-1Б и ПРОТЕЙ-1В реализуют принципиально новый алгоритм анализа корреляционной матри-

цы, получаемой в результате работы программы ПРОТЕЙ-1 или ПРОТЕЙ-1А, для выявления ассоциаций взаимно коррелированных признаков: первая из них выявляет ассоциацию признаков, коррелированных как с заданным признаком, так и между собой, вторая — выявляет такие ассоциации для каждого из признаков, содержащихся в исходной или в сокращенной матрице. Выявленные ассоциации могут подвергаться содержательному анализу — по набору входящих в них «опорных» (т. е. известных до проведения вычислений) признаков рудоносности, легко опознаются рудоконтролирующие (для различных подтипов рудных объектов прогнозируемого типа или различных уровней эрозионного среза рудной системы) ассоциации (парагенезисы рудоконтролирующих признаков), и ассоциации, не имеющие рудоконтролирующей роли. При этом набор признаков, входящих в рудоконтролирующую ассоциацию, как правило, помимо «опорных» включает и другие признаки, рудоконтролирующая роль которых ранее была неизвестной и не была установлена при визуальном анализе, что обеспечивает более полное выявление закономерностей размещения оруденения и установление статистически устойчивых многопараметрических критериев прогнозирования, а также используется при разработке или корректировке прогнозно-поисковой модели, применительно к особенностям проявления оруденения на оцениваемой площади.

Непосредственно при выделении перспективных площадей рудоконтролирующие ассоциации взаимно коррелированных признаков рассматриваются в качестве частных признаков моделей, каждая из которых характеризует наличие того или иного подтипа из совокупности целевых объектов (объектов прогнозирования). Наличие в совокупности целевых объектов подтипов, различающихся парагенезисами рудоконтролирующих признаков, может быть обусловлено различиями в уровне эрозионного среза оруденения, составе рудоматеринских или рудовмещающих породных комплексов и др. Обычно различия между рудоконтролирующими ассоциациями выражаются не по всей совокупности признаков, а лишь по некоторым из них. Тем не менее, учет этих различий при распознавании потенциально рудных объектов (т. е. использование при распознавании нескольких эталонов) в большей степени соответствует существу задачи прогнозирования рудных объектов, чем традиционное использование единой эталонной совокупности рудных

объектов, основанное на допущении, что вся эта совокупность может быть охарактеризована одним набором признаков (такое допущение справедливо лишь в частных случаях).

Одной из функций рассматриваемого блока программ является реконструкция вертикальной рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности рудных объектов (объектов прогнозирования) по результатам изучения геохимического поля, рудоконтролирующих гидротермалитов и всех типов рудной минерализации на поверхности, с последующим построением модели с применением программ 1-го функционального блока (блока изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, разработки и корректировки прогнозно-поисковых моделей) [100].

Суть метода заключается в следующем:

— производится вычисление матрицы коэффициентов корреляции между признаками, которые являются установленными или предполагаемыми индикаторами зональности рудного объекта (объекта прогнозирования) (программа ПРОТЕЙ-1);

— производится обработка корреляционной матрицы с помощью программы ПРОТЕЙ-1В, которая выявляет ассоциации взаимно коррелированных (пространственно сопряженных) признаков (рис. 4.1.1);

— ассоциации взаимно-коррелированных признаков ранжируются с учетом априорных сведений об исследуемой рудной системе (имеющейся модели или литературных данных о зональности объектов изучаемого типа, полевых наблюдений) при соблюдении следующих условий: 1-я (внутрирудная) зона представляет собой парагенезис пространственно сопряженных (взаимно коррелированных) признаков, включающих в качестве одного из них рудную минерализацию, остальные (надрудные) последовательно наращивают ряд зональности таким образом, что парагенезис признаков каждой последующей зоны содержит часть признаков предыдущей зоны, большую, чем любой из других парагенезисов, (т. е. любые две граничащие зоны, сменяющие друг друга по вертикали, обладают максимальной степенью перекрытия по набору признаков) (рис. 4.1.2).

По результатам проведенной реконструкции составляется модель зональности объекта прогнозирования, применительно к району исследований (рис. 4.1.3). Составленная таким образом модель зональности является важным компонентом

прогнозно-поисковой модели, определяющей возможность прогнозирования слепого оруденения.

Приведенный метод может использоваться как при корректировке имеющейся модели, так и при разработке новой.

Блоки III и IV отвечают двум вариантам решения задач прогнозирования:

Блок III — предназначен для проведения прогнозирования традиционными компьютерными методами, предусматривающими применение, в качестве эталонных, рудных объектов, известных на площади работ. Реализуется с помощью программ ПРОТЕЙ-2, ПРОТЕЙ-3, ПРОТЕЙ-4. Программа ПРОТЕЙ-2 вычисляет значения информативности признаков, программа ПРОТЕЙ-3 решает задачу распознавания рудных объектов по совокупности информативных признаков, установленных по результатам работы программы ПРОТЕЙ-2, программа ПРОТЕЙ-4 осуществляет построение карты результатов распознавания, проведенного программой ПРОТЕЙ-3.

Блок IV — предназначен для прогнозирования с применением, в качестве эталонов, серии частных признаков моделей, сформированных программой ПРОТЕЙ-1В. Реализуется с помощью программ ПРОТЕЙ-5, ПРОТЕЙ-5А, ПРОТЕЙ-6.

Программы ПРОТЕЙ-5 и ПРОТЕЙ-6 предназначены для прогнозирования рудных полей, как выходящих, так и не выходящих на уровень эрозионного среза продуктивного комплекса с использованием, в качестве эталона, модели, содержащей характеристики различных уровней эрозионного среза рудных объектов прогнозируемого типа (внутрирудного, ближнего надрудного и дальнего надрудного), построенной по результатам работы программ ПРОТЕЙ-1, ПРОТЕЙ-1А, ПРОТЕЙ-1В и преобразованной в цифровую форму.

Программа «ПРОТЕЙ-5» для каждой прогнозной ячейки вычисляет показатели сходства, принимающие значения от 0 до 1, с каждым из трех эталонов, характеризующих различные уровни эрозионного среза рудных объектов прогнозируемого типа, представленные в цифровой модели. Если мера сходства с каким-либо из трех эталонов в ячейке принимает значение, превышающее пороговое, программа присваивает ей номер этого эталона, характеризующий наиболее вероятный уровень эрозионного среза. Если максимальный из трех показателей сходства ниже порогового значения (задаваемого так же, как и в случае программы «ПРОТЕЙ-3»), площадь, соответствующая

прогнозной ячейке, рассматривается как бесперспективная. Автоматически программа формирует таблицу результатов, полностью подготовленную для формирования файла .dbf для экспорта в исходный проект Arc View. Таблица содержит идентификационные номера ячеек (ID), координаты центров ячеек, а также углов площади в системе Гаусса-Крюгера, значения меры сходства с каждым из трех эталонов и значения L кода, отражающего перспективность ячейки и предполагаемый уровень эрозионного среза прогнозируемого оруденения.

Программа «ПРОТЕЙ-6» по результатам работы программы «ПРОТЕЙ-5», производит построение карты дифференцированной оценки перспектив площади, на которой наряду с оценками перспективности выделяемых потенциальных рудных объектов распечатываются также и оценки уровня их эрозионного среза в трех градациях (внутрирудный, ближний надрудный, дальний надрудный). Более подробно прогнозирование рудных полей, не выходящих на поверхность, рассматривается в разд. 4.3.

Программа ПРОТЕЙ-5А построена аналогично программе ПРОТЕЙ-5, отличается от нее тем, что позволяет проводить распознавание при произвольном количестве эталонов, предназначена для прогнозирования рудных районов и узлов (разд. 4.4), но может также применяться при прогнозировании рудных полей как выходящих, так и не выходящих на поверхность.

Пакет ПРОТЕЙ применялся: 1) в масштабе 1:50 000 при прогнозировании золоторудных полей, не выходящих на поверхность, в пределах площади листа N-40-XXXVI (Южный Урал [154, 173, 174], 2) в масштабе 1:200 000 в процессе ГМК-200 в пределах листов Q-41-XVI, XVII, XXI, XXII (Полярный Урал) при прогнозировании рудных узлов и полей с золото-платина-палладий-медным, медно-порфировым и кварц-золото-сульфидным оруденением, 3) в масштабе 1:1 000 000 на площади листа M-50 (Восточное Забайкалье) при прогнозировании рудных узлов с оловянным, молибденовым, золотым и свинцово-цинковым оруденением [154], 4) в масштабе 1:1 000 000 на площади листа N-53 (Хабаровский край и Амурская область) при прогнозировании рудно-росыпных районов и узлов золота и оловорудных (разд. 4.4).

Компьютерная система разработки прогнозно-поисковых моделей и прогнозирования на основе ГИС-технологий (разработка ЦНИГРИ) [154].

Разработанная в ЦНИГРИ компьютерная система прогнозирования рудоносных площадей с применением стандартных ГИС, включает в качестве самостоятельных блоков подсистему разработки прогнозно-поисковых моделей с применением ГИС-технологии, и подсистему компьютерного хранения прогнозно-поисковых моделей в виде банков прогнозно-поисковых моделей различных иерархических уровней. Базовые принципы этой компьютерной системы следующие: 1) Использование на основе геоинформационных систем основных «ручных» средств прогнозно-металлогенических исследований. 2) Применение при формировании баз данных современных прогнозно-поисковых моделей. 3) Использование геоинформационных технологий. 4) Объединение различных программно-технологических модулей в единую систему металлогенического районирования.

4.2. Компьютерные технологии выделения перспективных площадей

1. Основные понятия и термины

Версия прогноза — один из возможных вариантов прогноза, отличающихся от других одним или несколькими входными параметрами.

Достоверность прогноза — количественный показатель качества прогноза, комплексно отражающий степень неопределенности при принятии решения в диапазоне от 0 до 1.

Информационная значимость признака — интегральная характеристика, отражающая способность признака различать сравниваемые объекты.

Мера сходства — количественная оценка степени подобия оптимальной, типовой или экспертной модели прогнозируемого класса.

Модель оптимальная — упорядоченное описание отличительных свойств объектов определенного класса. Формируется по совокупности информативных признаков, при этом по каждому признаку выбирается градация с наибольшей значимостью.

Модель экспертная — информационная модель, отражающая представление геологов о закономерностях размещения объектов на основе прогнозно-металлогенических признаков,

описанных через признаковые поля в случае отсутствия эталонных объектов.

Модель типовая — информационная модель, отражающая совокупность отличительных свойств, наиболее часто повторяющихся в объектах одного класса.

Оптимальный порог меры сходства — пороговое значение меры сходства, обеспечивающее автоматическое выделение перспективных участков.

Область аналогии — территория, в пределах которой ведется прогнозирование на основе единого решающего правила или другими словами — территория распространения одних и тех же рудоконтролирующих признаков.

Перспективный участок (или площадь) — участок, обладающий сходством с моделью объектов прогнозируемого класса выше заданного порога, а индекс перспективности — это количественный показатель, учитывающий вероятность нахождения объекта и его ожидаемые ресурсы.

Поисковые признаки — характеристики геологических тел, природных сред и металлогенических объектов, являющиеся следствием процессов и явлений, благоприятствующих образованию прогнозируемых объектов, статистически устойчиво с ними связанные и указывающие на место их возможного расположения.

Поисковый риск — количественная оценка качества прогноза полезных ископаемых, учитывающих надежность и локальность прогноза.

Порог меры сходства — минимальная величина меры сходства, достаточная для отнесения объекта к прогнозируемому классу; ее оптимальная величина определяется по функции риска.

Слой — координатно привязанная информация, сформированная либо по типу объектов, либо по принципу удобства ее извлечения при решении предметных задач.

Цель — некое предвидение экспертом результатов прогноза.

Объект прогноза — это минерагенический таксон, выбранный в соответствии с целью и масштабом исследования, определенной и описанной свойствами модели.

Минерагенические факторы — совокупность объективных показателей, характеризующих геологические тела и структуры, процессы, время и обстановки, являющиеся причинами образования, размещения и сохранения месторождений полезных ископаемых.

2. Методы выделения перспективных площадей и реализующие их компьютерные системы (программные комплексы)

Прогнозная оценка территорий при проведении ГМК в компьютерной технологии может проводиться с использованием различных по своему смысловому содержанию и математическому аппарату методических приемов.

Простейшим методом является поиск аналогов, при котором геолог предлагает системе определить степень соответствия прогнозируемых объектов некоторому эталонному объекту, выбранному им. Суть решения заключается в рассмотрении объектов как точек в многомерном признаковом пространстве и определении евклидовых расстояний от эталонной точки до прочих, которые и являются мерой подобия прогнозируемых объектов эталону.

Вторым методом решения прогнозных задач служит метод безэталонной классификации или метод таксономии. Системе предлагается некоторое множество объектов с предложением разделить их на классы таким образом, чтобы объекты одного класса были достаточно похожи друг на друга, а объекты разных классов существенно различались. Как и при поиске аналогов, задача решается через рассмотрение положения объектов в многомерном пространстве признаков. Точки, образующие компактную группу, значительно удаленную от других подобных групп, относятся к одному классу объектов и т. д.

Наиболее продуктивным по заложенным в нем возможностям является метод распознавания образов. Метод предполагает 2-этапную реализацию. На первом этапе (этапе обучения) все объекты делятся на две группы, принадлежащие к разным классам (перспективные и неперспективные, медно-порфировые и стратиформные медные и др.). Анализируя положение объектов эталонных выборок в пространстве признаков, система формирует решающее правило для определения принадлежности распознаваемых объектов к тому или иному классу. На втором этапе по результатам обучения проводится классификация объектов прогнозирования, результаты которой носят вероятностный характер.

Одним из вариантов метода распознавания образов является метод эвристического моделирования. Этот метод опирается на профессиональную компетентность геолога-эксперта. Функции построения решающего правила при этом методе

передается именно этому эксперту. Эксперт формулирует это правило на основе собственных представлений и опыте о закономерностях процессов рудообразования и об их отражении в моделях прогнозируемых объектов. Далее работа ведется по той же технологии, что и в методе распознавания образов.

Последним из методов прогноза с использованием компьютерных технологий выступает метод, основанный на аппарате нечетких множеств. Сначала рассчитывается распределение значений признаков по эталонной выборке и характеристическая функция каждого объекта. Затем вычисляются функции принадлежности для общего признакового пространства и для группы эталонных объектов. По характеристической функции производится расчет параметров признаков: устойчивость, информативность, неоднородность и др. Далее эксперт выбирает из всей совокупности только те признаки, которые влияют на распределение оруденения и по ним отстраивает варианты прогнозных решений.

Основной концептуальный принцип функционирования любой компьютерной технологии (КТ), решающей прогнозные задачи выделения перспективных площадей, в следующем: максимальное приближение процесса подготовки гипотезы прогноза к традиционному прогнозированию, используя при этом возможности компьютерных систем по анализу, обработке и многовариантности прогнозных построений на базе огромных информационных массивов.

По степени участия геолога в процессе прогнозирования КТ делятся на формализованные, человеко-машинные, экспертные.

Формализованные КТ основаны на математических методах, строящих формальные модели, которые в оговоренных пользователем условиях предлагают ему некоторое «оптимальное решение». Данные КТ рассматривают только статистические, а не содержательные связи. После построения схемы решения прогнозной задачи геолог не участвует в дальнейшем процессе прогноза. Примером формализованной КТ может служить КТ «Геостатистика».

Человеко-машинные КТ используют формально-логические модели, базирующиеся на методах математической статистики, аналогии и теории распознавания образов. При этом эксперт-геолог участвует на всех стадиях процесса прогнозирования. Основная трудность человеко-машинных КТ

состоит в переводе с содержательного (геологического) языка на формальный (математический) и обратно через операцию содержательной интерпретации результатов прогноза. При этом рассматриваются многовариантный прогноз, а в задачу эксперта входит выбор наиболее достоверного. Типичными примерами человеко-машинных КТ являются большинство специализированных пакетов по обработке геофизических и геохимических данных (Геоскан, Асод-прогноз). В последние годы человеко-машинные КТ значительно усложнились, в них появились модули от экспертных КТ (ПАРК, Интегро).

Экспертные КТ основываются на использовании содержательных моделей формирования месторождений полезных ископаемых в том виде, в каком они представляются геологом. Тем самым обеспечивается прямой диалог «геолог—система» без использования формальных процедур. Данные технологии требуют наличия разветвленной базы знаний в виде моделей прогнозных объектов, зашитых в систему и постоянно пополняемых (Генезис).

Любая КТ при выделении перспективных площадей предусматривает решение общих задач, включая постановку геолого-прогнозной задачи, ее формализацию, анализ имеющихся исходных данных, выбор метода решений задачи, решение задачи и интерпретация результатов. Именно такая последовательная цепочка формализованных понятий прогноза позволяет построить модель и схему решения прогнозної задачи.

Исходными данными при использовании КТ для выделения перспективных площадей при ГМК-500 и ГМК-200 выступают:

- государственные геологические карты, карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения;
- геофизические, геохимические и дистанционные основы или материалы для их составления;
- модели промышленных или минерагенических объектов прогнозируемого оруденения;
- базы первичных данных геологической информации.

Использование компьютерных технологий при ГМК делится на ряд этапов: постановка задачи при проведении проектирования; сбор материалов, перевод их в цифровые форматы и создание баз данных (БД); анализ данных, формирование признакового пространства; выявление закономерностей размещения оруденения; создание моделей объектов прогноза;

выработка экспертно-прогнозного решения с построением карт-гипотез; интерпретация результатов; подсчет прогнозных ресурсов; построение и визуализация итоговых геолого-минералогических карт (схем); оформление окончательного отчета.

Любая КТ представляет собой инструментарий, помогающий геологу правильно и полно осмыслить материал, провести прогнозную оценку территории и оформить окончательные результаты в современном и доступном для понимания виде. В связи с этим компьютерная технология должна отвечать следующим требованиям:

- применение КТ не должно сопровождаться слишком большими дополнительными затратами труда и времени исполнителя;

- специалист должен иметь возможность корректировать ход работы на любом этапе его проведения;

- смысл операций КТ должен быть доступен пониманию геолога, а интерфейс удобен для использования;

- исполнитель должен доверять прогнозным оценкам и достоверности итоговых результатов, получаемых им от применения КТ;

- КТ должна быть доступна по стоимости для пользователя и корреспондироваться с используемой им при выполнении работ нормативно-методической базы;

- наличие программно-математического обеспечения для работы с базами данных, хранение, многократное и многоцелевое использование информации;

- иметь разветвленную систему конверторов и драйверов и т. д.;

- КТ должна строиться по модульному принципу, когда каждый модуль, являясь по сути независимым и автономным, вместе с тем является компонентом системы в целом.

Таким образом, будущая КТ должна в обязательном порядке иметь модули: «Ввод данных», «Анализ данных», «Формирование признаков», «Прогноз полезных ископаемых», «Справки и вывод данных», «Администратор базы данных», «Генератор знаков», «Векторный редактор». База данных является составной частью технологии, а проблемно-ориентированные программы решают задачи анализа и прогноза.

В основе выделения рудоперспективных площадей лежит принцип аналогий. Методика прогнозирования зависит от качества геолого-геофизических материалов, формационной и

генетической принадлежности оруденения. Библиотека прогнозных моделей является составляющей частью компьютерной технологии. «Типовые» прогнозные модели включают совокупность наиболее типичных свойств объектов, независимо от распространения их за пределами рудоносных площадей. «Оптимальные» модели образованы свойствами, которые слабо проявлены за пределами рудных объектов, но обязательно присутствуют на объектах-эталонах. Оценка информативности признаков, необходимая для решения вопроса о включении или не включении ее в модель, проводится различными способами.

На современном этапе при прогнозе на твердые полезные ископаемые используются различные информационно-аналитические и экспертные системы, каждая из которых имеет свои особенности, преимущества и алгоритмы решения прогнозной задачи. При компьютерном сопровождении ГМК наиболее часто используются информационно-аналитические и экспертные системы: ПАРК (Россия), ИНТЕГРО (Россия), ГЕНЕЗИС (Россия), PROSPECTOR (США).

ПАРК [33]. Фирма-разработчик: ООО «Ланэко» (Россия). ПАРК — интегрированная система, сочетающая функции информационно-справочной, расчетно-логической, аналитической и прогнозирующей систем. Средства системы обеспечивают автоматизацию как процессов преобразования формы представления данных, так и процессов получения новой информации на основе комплексной интерпретации качественных и количественных данных методами распознавания образов; оптимизации решений по количественным критериям качества; экспертного и компьютерного моделирования.

Основное назначение:

— создание многоцелевых картографических баз данных, связанных с гипертекстовыми описаниями картографических объектов;

— накопление, редактирование, селекция, преобразование формы представления, систематизация данных;

— построение производных карт;

— многомерное (многопараметрическое) районирование территорий;

— арифметические и логические операции над картами, фильтрация, картометрия и пр.

— анализ данных — пространственная статистика, таксономия, исследование связей, поиск диагностических комбинаций признаков объектов;

- идентификация объектов — распознавание и автоматическое картографирование объектов и прогнозных ситуаций;
- планирование и моделирование стратегий картировочных и прогнозно-металлогенических работ;
- аналитическое, фактографическое информационное обслуживание.

Система ПАРК базируется на методах распознавания образов, оптимизации решений по количественным критериям качества, интерактивном моделировании, предоставляя геологу возможность полностью проводить картографирование и прогнозно-металлогенический анализ в одной среде. Имеет лицензию Требования к вычислительной платформе — минимальные, операционная система — MS DOS (в настоящее время идет ее переработка под Windows), структура графических данных — растровая, векторная, векторная топологическая. СУБД внутренняя, поддерживается интеграция растр в вектор и наоборот, вектор поверх растра. Имеет обширную библиотеку картографических знаков и типов линий, разветвленную систему конверторов для обмена данными с другими картографическими системами. Наиболее известные проекты, выполненные с использованием системы ПАРК: Прогнозно-металлогеническая карта Хабаровского края масштаба 1:1 000 000, Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения на Южное Приуралье, отдельные районы Алтая, Кемеровской области и другие регионы масштаба 1:200 000, прогноз золотосодержания на Южное Прикарпатье и Алтая-Саянской складчатой области масштаба 1:1 000 000.

ИНТЕГРО [157, 222, 223]. Фирма — разработчик: ВНИИ-ГЕОСИСТЕМ (Россия). Геоинформационная система предназначенная для информационного обеспечения, разработки и поддержки принятия решения на основе комплексной интерпретации разнотипных координатно привязанных данных. Главные функции:

- создание картографических баз данных;
- синтез тематических и специализированных карт;
- ввод, макетирование и визуализация любых картографических продуктов;
- распознавание объектов, совместная интерпретация картографических данных;
- моделирование и прогноз полезных ископаемых.

Специально разработан под данную систему ряд программных пакетов прикладного свойства, обеспечивающих пере-

ходы в различные проекции, обработку геофизических материалов, качественный вывод итоговых материалов и многое другое. Требования к вычислительным платформам: минимальные, операционная система Windows. Структура графических данных: растровая, векторная; внешняя СУБД. Имеет разветвленную библиотеку обменных форматов. Широкие аналитические возможности позволяют с использованием данной системы решать самые сложные картографические и прогнозные проекты. Среди наиболее известных проектов: комплект карт по угленосности России, Карта полезных ископаемых докембрия России, прогнозные карты на широкий круг полезных ископаемых масштаба 1 : 200 000 и др.

PROSPECTOR. Фирма-разработчик: Стенфордский исследовательский институт (США). Экспертная система предназначенная для информационного обеспечения прогноза различных месторождений рудных полезных ископаемых на базе разработанных типовых моделей геолого-промышленных типов месторождений. Главные функции:

- создание баз данных;
- распознавание объектов, совместная интерпретация геологических данных;
- моделирование и прогноз полезных ископаемых.

Требования к вычислительным платформам: минимальные, операционная система Windows. Структура графических данных: внешняя СУБД. Имеет разветвленную библиотеку моделей наиболее распространенных геолого-промышленных типов месторождений (более 100). Широкие экспертно-аналитические возможности позволяют с использованием данной системы решать самые сложные прогнозные проекты. Работа в системе проходит в режиме диалога геолог—система. Геолог сообщает (вводит) в систему основные характеристики прогнозируемой площади: тип залегания, структурно-вещественные комплексы, виды пород, минералов и т. д. Система связывает эти характеристики и сравнивает их с хранящимися у нее в базе моделями месторождений. По мере необходимости система запрашивает у геолога дополнительную информацию. Выбрав одну или несколько моделей, система проводит их сравнение с прогнозируемым районом и определяет перспективность последнего. Система использует правила, связывающие наблюдаемые геологические факты с гипотезами, выдвигаемыми на основе этих свидетельств. Среди наиболее известных проектов:

прогноз ураноносности для западных штатов США, прогноз медно-порфировых месторождений для различных геодинамических обстановок, прогноз эпигенетических месторождений типа Тинтик и др.

ГЕНЕЗИС [224]. Фирма — разработчик: НИИКАМ (Россия). Экспертная система, предназначенная для информационного обеспечения и прогноза полезных ископаемых, опасных геологических процессов, российский аналог Prospector. Главные функции:

- создание баз данных;
- создание базы знаний;
- моделирование и прогноз полезных ископаемых.

Специально разработанный под данную систему программный пакет обеспечивает работу эксперта-геолога с базами знаний и данных для выработки прогноза. Требования к вычислительным платформам: минимальные, операционная система Windows, внутренняя СУБД. Система разработана как «пустая», не содержащая априори никаких знаний. Знания в виде конкретных моделей представляются экспертом-геологом и включаются в систему. Совокупность всех экспертных моделей, включенных в систему, составляет базу знаний. После того как модель с помощью имеющихся программных средств помещена в базу знаний, пользователь может получать экспертные заключения. Модель описывается экспертом на специальном языке описания знаний. После того, как база знаний загружена система готова к работе с геологом-пользователем. Геолог сообщает необходимую для прогноза информацию, а система при помощи процедур пошагового логического вывода дает экспертное заключение (прогноз). При работе с пространственными данными заключение дается по каждой точке, входящей в прогнозный участок. При этом данные, необходимые для прогноза, хранятся как отдельные слои, отвечающие прогнозным факторам. Именно по такой схеме был построен ЭС «Регион». В случае, если поведение модели не совпадает с представлением геолога-пользователя, эксперт с помощью подсистемы «тестирование базы знаний» вносит в описание модели необходимые коррективы. Программа логического вывода запрашивает у пользователя необходимую информацию и затем в режиме *on line* выдает экспертное заключение. На сегодня в системе зашита разветвленная библиотека экспертных моделей по разным типам месторождений. Широкие аналитические возможности

позволяют с использованием данной системы решать сложные прогнозные задачи. Среди наиболее известных проектов: прогноз стратиформного полиметаллического оруденения на Енисейском кряже, прогноз золото-сульфидно-кварцевой формации в различных структурных обстановках, прогнозирование платинометалльного оруденения в палеорифтовых структурах континентальной коры, типизация территорий по степени закарстованности и др.

Завершая данный раздел, необходимо еще раз подчеркнуть, что программные системы, необходимые при конструировании компьютерных технологий прогнозно-металлогенической оценки территорий должны:

- обеспечивать возможность работы в векторных и растровых форматах;

- иметь набор специальных функций, обеспечивающих точность отображения факторов и признаков, возможность хранения не результатов обработки, а исходных данных и алгоритмов, позволяющих воспроизвести при необходимости нужный результат;

- содержать минимальное количество возможных методических ошибок, определяемых используемыми алгоритмами или полнотой их выбора;

- обеспечивать удобство и простоту интерфейса, адаптированность к различным техническим платформам, быстроту визуализации больших растровых файлов, скорость вычислений;

- обеспечивать возможности функционального развития пакета за счет приобретения дополнительных модулей и возможность дополнения пакета модулями пользователя.

4.3. Особенности применения компьютерных технологий при прогнозировании рудных объектов, не выходящих на поверхность

Прогнозирование рудных объектов, не выходящих на поверхность — слепых (не выходящих на уровень эрозионного среза рудовмещающего породного комплекса), погребенных (перекрытых более молодыми рыхлыми отложениями), погребено-слепых (не выходящих на уровень эрозионного среза рудовмещающего породного комплекса и перекрытых более молодыми рыхлыми отложениями), является важнейшей областью приложения компьютерных технологий.

Применительно к ГМК эта задача наиболее актуальна и наиболее реальна при прогнозировании рудных полей (месторождений) в процессе ГМК-200, но в благоприятных ситуациях может быть поставлена и решена также и при прогнозировании рудных районов и узлов с оруденением, частично или полностью не выходящим на поверхность, при ГМК-500.

Компьютерное прогнозирование рудных полей и месторождений, в зависимости от геологического строения и характера рудно-геохимической зональности вмещающих их рудных районов и узлов (объектов прогнозной оценки) может осуществляться двумя существенно различающимися методами.

В соответствии с классификацией, приведенной в табл. 2.1.2 (разд. 2.1), различаются три группы рудных районов и узлов:

1. Рудные районы, в пределах которых рудная и геохимическая (иногда также и гидротермально-метасоматическая) зональность контролируется элементами расслоенности крупных мафит-ультрамафитовых или щелочных плутонов или слоистостью вулканогенных, осадочных или метаморфических комплексов (в табл. 2.1.2 — рудные районы типов IA, IVA, VA).

2. Рудные районы с рудной, геохимической и гидротермально-метасоматической зональностью, субпараллельной кровле крупных плутонов или внешней границе гранито-гнейсовых куполов (в табл. 2.1.2 — рудные районы типов ПА' и ПИА').

3. Рудные районы, для которых связь рудной, геохимической и гидротермально-метасоматической зональности с рудоконтролирующими геологическими телами (вулканическими постройками, интрузивными массивами и др.) неотчетлива либо надежно устанавливается лишь по латерали. В пределах таких рудных районов оруденение контролируется крупными линейными или кольцевыми разрывными структурами, а непосредственно рудные поля и месторождения нередко пространственно связаны с малыми интрузивными или субвулканическими телами, локализованными на пересечении линейных или линейных и кольцевых разрывных нарушений (в табл. 2.1.2 — рудные районы типов IB, IIB, IIIB, IVB, VB).

При прогнозировании рудных полей и месторождений в пределах рудных районов и узлов 1-й группы, как правило, наиболее целесообразно применение технологии, базирующейся на комплексном (геолого-геофизическом и геохимическом) объемном моделировании оцениваемого рудного района или узла, с последующим неформальным объемным анализом

закономерностей размещения объектов прогнозирования, позволяющим установить вероятное положение прогнозируемых рудных полей (месторождений) в трехмерном пространстве [149, 174]. При прогнозировании рудных полей и месторождений в пределах рудных районов и узлов 3-й группы целесообразно применение технологии, базирующейся на применении алгоритмов распознавания с использованием, в качестве эталона, модели объекта прогнозирования (рудного поля, месторождения). Прогнозирование рудных полей и месторождений в пределах рудных районов и узлов 2-й группы, в зависимости от конкретной ситуации может применяться технология, базирующаяся либо на объемном моделировании, либо на применении алгоритмов распознавания, или обе эти технологии применяются в качестве взаимно дополняющих. Последний вариант может оказаться целесообразным также и в случае рудных районов и узлов 1-й и 3-й групп.

Геолого-геофизическое моделирование производится методом подбора на компьютере в диалоговом режиме, а построение объемной схемы рудно-геохимической зональности осуществляется путем экстраполяции на глубину латеральной зональности, изученной на поверхности, путем увязки ее с элементами геолого-геофизической модели.

В случае рудных районов и узлов 2-й группы построение объемной схемы рудно-геохимической зональности зональности на глубину возможно при условии тщательного ее изучения по латерали с применением метода главных компонент в сочетании с тренд-анализом или методом скользящего среднего, с последующей привязкой установленных элементов латеральной зональности к элементам геолого-геофизической модели, в том числе не выходящим на поверхность, что с приемлемой степенью приближения позволяет экстраполировать зональность на глубину [149].

Составленная таким образом комплексная объемная модель объекта изучения (рудного района или узла) обеспечивает вовлечение в процесс прогнозирования рудоконтролирующих элементов геологического строения, не выходящих на поверхность, а также возможность изучения и использования всех взаимосвязей разнородных геологических образований, в том числе региональных и локальных гидротермалитов, региональных и локальных геохимических ореолов, как между собой, так и с объектами прогнозирования. Основой комплексной

интерпретации результатов работ (геологических наблюдений, геофизических и геохимических исследований др.) являются прогнозно-поисковые модели рудного района (узла) и рудного поля (месторождения) прогнозируемой рудной формации, позволяющие увязать данные разных методов в единое целое. Вместе с тем, как показывает опыт, результаты комплексного объемного моделирования объекта изучения в той или иной степени вызывают необходимость и, в значительной степени, обеспечивают возможность корректировки прогнозно-поисковых моделей применительно к особенностям оцениваемого рудного района или узла.

Результирующим графическим документом является комплексная объемная модель оцениваемого рудного района или узла с прогнозной нагрузкой, состоящая из карты поверхности рудовмещающего породного комплекса и серии разрезов (альтернативный вариант — серии карт-срезов). Элементами прогноза являются либо прогнозируемые рудные поля, либо относительно более крупные трехмерные области их вероятной локализации. В качестве одного из вариантов представления результатов прогноза, прогнозируемые рудные поля и месторождения могут быть показаны только на карте поверхности рудовмещающего породного комплекса с указанием приближенной оценки уровня эрозионного среза прогнозируемой рудной системы в трех градациях — внутрирудный, ближний надрудный, дальний надрудный.

Метод применялся для прогнозирования слепого и погребенного оруденения — хромитового в альпинотипных ультрамафитах (Кемпирсайский рудный район на Южном Урале), молибденитового калишпатолит-березитового (Бугдая-Шахтаминский рудный район в Восточном Забайкалье), барит-свинцово-цинкового карбонатного (Учкулачский рудный район в Западном Узбекистане), золото-кварцевого с платиноидами и золото-серебро-полиметаллического (Тим-Шигровский потенциальный золоторудный район в районе КМА) [149]. Методы построения комплексных (геолого-геофизических и геохимических) объемных моделей рудных районов и узлов различных типов и прогнозирования на их основе рудных объектов, не выходящих на поверхность, подробно рассмотрены в работе [149].

При прогнозировании рудных полей и месторождений в пределах рудных районов и узлов 3-й и, отчасти, 2-й групп

целесообразно применение технологии, базирующейся на применении алгоритмов распознавания с использованием в качестве эталона модели объекта прогнозирования (рудного поля, месторождения). Наиболее принципиальным отличием этой технологии от охарактеризованной выше является то, что прогнозирование осуществляется на основе использования зональности и других геологических особенностей только самого объекта прогнозирования, без учета зональности объекта прогнозной оценки — рудного района или узла (именно это является основной причиной применимости технологии при прогнозной оценке рудных районов и узлов 3-й группы).

Варианты этой технологии в основном отличаются типом используемой модели и методами ее применения непосредственно в процессе распознавания.

Самый простой вариант технологии заключается в использовании в качестве эталона имеющейся прогнозно-поисковой модели, преобразованной в признаковую (т. е. представленную рабочей ассоциацией информативных признаков), пригодную для непосредственного применения в качестве эталона при распознавании.

Более сложный, но и более эффективный вариант технологии заключается в том, что исходная прогнозно-поисковая модель подвергается корректировке, для ее адаптации к особенностям проявления оруденения прогнозируемого типа на оцениваемой площади, в процессе компьютерного изучения закономерностей размещения объектов прогнозирования по схеме, изложенной в разд. 4.1, или (при отсутствии исходной прогнозно-поисковой модели) разрабатывается по той же схеме. В последнем случае последовательность основных операций противоположна той, которая приведена для первого варианта технологии; сначала разрабатывается признаковая модель, непосредственно используемая в качестве эталона при распознавании, а затем на ее основе — прогнозно-поисковая, отвечающая требованиям, изложенным в гл. 3, и имеющая более широкую область применения. В частности она используется при выборе комплекса геологических, геофизических, геохимических и других методов исследований при разработке технологии картографирования минерагенических факторов.

При обоих рассмотренных вариантах технологии главным условием ее применимости при прогнозировании рудных полей и месторождений, не выходящих на поверхность

рудовмещающего породного комплекса, является адекватное отображение в используемых моделях рудно-геохимической, гидротермально-метасоматической и иной зональности рудной системы, в особенности ее вертикальной составляющей. Степень детальности отображения зональности должна обеспечивать возможность формирования на основе модели трех (или более) эталонов различных уровней эрозионного среза рудной системы — внутрирудного, ближнего надрудного и дальнего надрудного.

Соответственно распознающая программа должна быть ориентирована на распознавание при трех эталонах или произвольном числе эталонов (разд. 4.1).

Результирующим графическим документом является прогнозная карта, содержащая дифференцированную оценку перспективности выделенных участков и оценку уровня их эрозионного среза (внутрирудного, ближнего надрудного, дальнего надрудного), распечатанную в автоматическом режиме (рис. 4.3.1) [154]. Технология применялась при прогнозировании золотого оруденения золото-кварцевой и золоторудной березитовой формации в пределах Айдырлинского рудного узла и потецильного золоторудного Бриентского узла на южном Урале [154, 173].

Успешность применения обеих рассмотренных в настоящем разделе технологий при ГМК-200 в значительной мере зависит от степени изученности гидротермалитов и геохимического поля в пределах оцениваемых рудных районов и узлов.

4.4. Примеры применения компьютерных технологий при прогнозировании рудных районов, узлов и полей различных рудно-формационных типов

1. Прогнозирование золоторудных (рудно-россыпных) и оловорудных районов и узлов на площади листа N-53 (Хабаровский край и Амурская область) с применением программного комплекса ПРОТЕЙ (рис. 4.4.1)

Россыпные и рудные месторождения золота на площади листа (рис. 4.4.2) эксплуатируются с 1870-х гг. В настоящее время большая часть русловых и долинных мелкозалегающих россыпей отработана, и выявление новых объектов этого типа маловероятно. Основные перспективы связаны с расширением

добычи рудного золота, изучением и вовлечением в добычу глубокозалегающих погребенных россыпей. Перспективы выявления новых коренных месторождений и погребенных россыпей существуют в известных рудно-россыпных районах, кроме того, могут быть выявлены новые рудные районы и узлы с месторождениями подобного типа, прежде всего в пределах Селемджино-Кербинской золоторудно-россыпной МЗ Амуро-Охотской МП [35].

На площади листа насчитывается 21 коренное месторождение золота, из них четыре относятся к средним по запасам, 17 — к малым, а также 131 проявление. Россыпная золотонность представлена 21 крупной, 195 средними, 108 малыми россыпями и 179 россыпепроявлениями. Выявлено также семь шлиховых ореолов, 121 шлиховой поток рассеяния золота и четыре вторичных геохимических ореола рассеяния золота.

В Государственном балансе запасов РФ (Хабаровский край и Амурская область) на 01.01.2003 г. по территории листа стоят на учете запасы по четырем рудным месторождениям: Токурскому, Авляяканскому, Албазинскому и Киранскому. По остальным месторождениям запасы сняты с учета как не отвечающие современным кондициям либо в связи с отработкой основной части запасов, неблагоприятными горнотехническими условиями и географо-экономической обстановкой. На некоторых малых месторождениях в Ниманском и Кербинском РУ велась эксплуатационная добыча золота (извлечено до первых сотен килограмм), затем они были законсервированы в связи с нерентабельностью.

Из 131 проявления золота, известных на территории листа, поисковые работы разной степени детальности проведены на 60. 49 проявлений предшественниками признаны перспективными, и на них рекомендовано проведение поисково-оценочных работ.

Ресурсы россыпного золота аллювиально-долинного типа в состоянии обеспечить достигнутый уровень золотодобычи на 5—10 лет, при условии постоянного проведения геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности [35].

Наиболее крупными ресурсами золота характеризуются рудно-россыпные районы и узлы Селемджино-Кербинской золоторудно-россыпной МЗ. Коренные месторождения золото-кварцевой формации — от малых до средних, россыпные

во всех известных районах и узлах Селемджино-Кербинской золоторудно-россышной МЗ — до крупных.

Рудно-россышные районы и узлы этой зоны, как наиболее перспективные, при проведении компьютерного прогнозирования были выбраны в качестве эталонных.

Оловянное оруденение в основном сосредоточено в пределах Эзоп-Ям-Алинской прогонзируемой вольфрам-оловянной минерагенической области (35) (относящейся, как и Селемджино-Кербинская МЗ, к Амуро-Охотской МП) и представлено многочисленными рудопроявлениями.

Несмотря на отсутствие установленных промышленных месторождений перспективы Эзоп-Ям-Алинской области представляются весьма высокими по совокупности геотектонических, формационных, магматических, геофизических и иных факторов.

К таким факторам относятся:

— орогенный характер области при существенной роли кислых вулканогенных образований, что является фактором максимальной интенсивности;

— проявления оловянного оруденения [79], большие площади, занятые оловоносными позднемеловыми гранитами, приуроченность области к зоне регионального гравитационного минимума и к соответствующей ему области повышенной мощности земной коры (благоприятный фактор для месторождений литофильной группы, в том числе оловорудых [150]), разнообразие рудноформационных типов оловянного оруденения при высокой роли касситерит-силикатной формации, для которой типичны средние, крупные и очень крупные месторождения [79], признаки полиформационного характера оруденения на некоторых из рудопроявлений, сходство по большинству приведенных характеристик с Баджальской минерагенической областью на территории соседнего листа М-53 (Копылов, Романовский, 2003).

В пределах Эзоп-Ям-Алинской прогонзируемой вольфрам-оловянной минерагенической области известны 32 проявления, 24 вторичных литохимических ореола рассеяния олова и пять шлиховых ореолов рассеяния касситерита. Наиболее детально изучено проявление Соруканское, сложенное преимущественно нижнеюрскими ороговикованными и метасоматически измененными терригенными породами нимеленской свиты и верхнемеловыми вулканитами онкондинской толщи,

прорванными штоком гранодиорит-порфиров и дайками риолитов позднемелового баджало-дуссеалиньского комплекса. Оловоносные гидротермалиты представлены грейзенами, хлоритами, березитами. Оловянное оруденение локализуется в кварц-хлорит-сульфидных зонах и сульфидно-кварцевых жилах. Канавами, скважинами и разведочной штольной выявлено 75 рудных тел протяженностью от 40 до 2000 м при мощности от 0,1 до 30 м, прослеженных на глубину от 35 до 140 м. Количество сульфидов в рудных телах колеблется от 1 до 12 %, содержания полезных компонентов составляют: олово 0,1–10 %, среднее 0,79 %; свинец 0,2–7 %; цинк 0,3–3,5 %; медь 0,05–5 %. Рудная формация — касситерит-силикатная, тип — субвулканические грейзены. На глубину до 200 м ресурсы олова оценены по категориям $P_1 + P_2$ в 40–45 тыс. т. Поисковые работы различной степени детальности проводились на 17 других проявлениях. На восьми из них рекомендована постановка поисково-оценочных работ [35].

Для решения задач прогнозирования с применением пакета ПРОТЕЙ из Общей базы данных была выделена Специализованная база Данных (СБД) в формате Microsoft Excel (xls), представляющая собой таблицу «ячейки-признаки». Площадь листа N-53 была разделена на 576 ячеек (24×24), каждая из которых соответствует топопланшету масштаба 1 : 50 000 (см. рис. 4.4.1). Каждой ячейке листа в таблице СБД соответствует строка, а каждому признаку — столбец. В таблицу СБД заносилась вся информация, собранная с доступных носителей (карты комплекта ГК-1000/3, атрибутивные таблицы ЦМ, специализированные карты, не вошедшие в комплект ГК-1000/3). Снятая с источников информация заносилась в таблицу в двоичном виде. Единица (1) обозначала наличие определенного признака в ячейке, а ноль (0) — его отсутствие. Для преобразования количественных данных (гравиметрические, магнитометрические, мощность земной коры и др.) в двоичный вид использовалась Вспомогательная Программа подготовки информации (ВППИ ПРОТЕЙ). Программа позволяет перевести любые количественные данные в качественные, позволяя устанавливать определенные уровни градаций как в ручном, так и в автоматическом режиме.

В результате для каждой из двух решаемых задач были сформированы три блока признаков — геологический, геохимический и геофизический. В геологический блок попала информация,

снятая с карты дочетвертичных образований и карты полезных ископаемых, — осадочные, вулканогенно-осадочные, вулканогенные, интрузивные породные комплексы формационного уровня, а также информация об известных объектах полезных ископаемых с учетом ранга их значимости.

В геофизическом блоке была использована информация с карты магнитного поля, гравиметрической карты и карты мощности земной коры. В качестве признаков использовались не только диапазоны значений полей, но и вводился признак, характеризующий величину градиентов их значений.

В блок геохимических признаков была включена информация о геохимических аномалиях и шлиховых ореолах.

При составлении СБД отбор включаемых в нее признаков производился исходя из следующих соображений. Признаками, снимаемыми с карт, могут быть любые типы изображенных на них элементов, в отношении которых известно или можно предположить, что они применительно к оцениваемой площади являются критериями прогнозирования. Предположительный характер тех или иных признаков не создает опасности разбавления информативной системы признаков неинформативными или малоинформативными, так как последние отсеиваются в результате работы программы «ПРОТЕЙ-1» и «ПРОТЕЙ-1А», а если заранее отказаться от предположительно информативных признаков, можно потерять некоторые из высокоинформативных. Кроме того, возможны ситуации, когда существенного повышения информативности группы малоинформативных признаков можно добиться путем их объединения в один комплексный признак по принципу логического «ИЛИ» (т. е. значение комплексного признака в прогнозной ячейке принимает значение 1, если хотя бы один из объединяемых признаков в этой ячейке равен 1) или по принципу логического «И» (значение комплексного признака в ячейке принимает значение 1, если все объединяемые признаки в этой ячейке равны 1). Автоматическое формирование комплексных признаков обоих типов может быть осуществлено с помощью программы ПРОТЕЙ-1 непосредственно в процессе вычисления корреляционной матрицы (при этом будут вычислены все корреляционные связи сформированного комплексного признака, со всеми остальными признаками, присутствующими в матрице) или с помощью программы ПРОТЕЙ-2 непосредственно в процессе вычисления информативности признаков

(при этом наряду с оценками информативности всех остальных признаков будет получена оценка информативности сформированного комплексного признака). В обоих случаях сформированный комплексный признак автоматически включается программой в таблицу СБД. В процессе проведенного компьютерного прогнозирования с помощью программы ПРОТЕЙ-2 были сформированы комплексные признаки: интервалов значений гравитационного поля в различных сочетаниях, мощности земной коры, комплексные признаки, характеризующие наличие в ячейке любого из прямых поисковых признаков (по принципу «ИЛИ»), а также признак, отражающий наличие в прогнозной ячейке как высоких, так и низких значений напряженности магнитного поля (по принципу «И»).

После составления СБД был произведен расчет корреляционной матрицы (рис.4.4.3) с помощью программы ПРОТЕЙ-1. Ее анализ позволил выявить все признаки, значимо коррелированные с целевыми признаками для прогноза золота и олова. Анализ осуществлялся как с помощью стандартных методов сортировки Microsoft Excel (рис. 4.4.4), так и с помощью программы ПРОТЕЙ-ГИС-3, позволяющей распечатывать на экране монитора карты попарных сочетаний признаков (рис. 4.4.5).

Дальнейшая обработка проводилась с применением программы ПРОТЕЙ-1А, которая сокращает исходную корреляционную матрицу (рис. 4.4.6) по принципу исключения признаков, коэффициенты корреляции которых с целевым признаком меньше порогового значения. Пороговое значение рассчитывается программой автоматически и зависит от количества объектов (ячеек). Для 576 ячеек площади листа N-53 порог значимости коэффициента корреляции составляет 0,13.

В результате были получены две сокращенные матрицы, в первую из которых входили только признаки, статистически значимо коррелированные с целевым признаком «рудно-россыпные районы и узлы золота», во вторую — с целевым признаком «рудопроявления олова». Выбор признака «рудопроявления олова» в качестве целевого определялся тем, что на площади листа N-53 месторождения олова в настоящее время не известны.

Для каждой из этих матриц с помощью программы ПРОТЕЙ-1В был осуществлен поиск групп взаимно-коррелированных признаков (ВКП). Так как в сокращенную матрицу вхо-

дят только признаки, значимо коррелированные с целевым, каждая из этих ассоциаций характеризует парагенезис пространственно сопряженных рудоконтролирующих признаков.

По результатам работы программы ПРОТЕЙ-1В был произведен выбор наиболее информативных ассоциаций ВКП. Предпочтение отдавалось тем ассоциациям, которые включали в себя признаки из всех трех блоков СБД — геологического, геохимического, геофизического, а среди признаков геологического блока — рудоконтролирующие комплексы формационного уровня, а также прямые признаки наличия прогнозируемых объектов, входящие в геологический и геохимический блоки.

Для прогнозирования золоторудных объектов было выбрано шесть ассоциаций признаков, а для оловорудных три ассоциации (рис. 4.4.7). Выбранные статистически устойчивые ассоциации признаков рассматриваются в качестве эталонов прогнозируемых объектов и используются при прогнозировании последних методом распознавания образов с помощью программы ПРОТЕЙ-5А. Они могут рассматриваться как частные признаковые модели, каждая из которых характеризует наличие того или иного подтипа из совокупности целевых объектов. Наличие в совокупности целевых объектов подтипов, различающихся парагенезисами рудоконтролирующих признаков, может быть обусловлено различиями в уровне эрозионного среза оруденения, составе рудоматеринских или рудовмещающих породных комплексов и др. (разд. 4.1).

Прогнозирование золоторудных (рудно-россыпных), а также оловорудных районов и узлов проводилось с использованием программы ПРОТЕЙ-5А, позволяющей проводить распознавание при произвольном количестве эталонов. Вычисляемая программой мера сходства с эталоном может принимать значения от 0 до 1. Пороговое значение меры сходства назначается пользователем программы, по умолчанию оно составляет 0,75.

Прогнозирование золоторудных (рудно-россыпных) районов и узлов производилось при пороговом значении меры сходства с эталоном 0,85. Неформальный анализ результатов распознавания проводился как по полученной таблице мер сходства, так и по графическому отображению результатов (рис. 4.4.8), для чего использовалась программа ПРОТЕЙ-ГИС-1.

Прогнозирование потенциально оловоносных площадей проводилось при пороговом значении меры сходства 0,8.

Графическое отображение результатов распознавания было выполнено с применением программы ПРОТЕЙ-6, так как она дает возможность отображать на карте результаты распознавания при трех эталонах (рис. 4.4.9). В настоящее время в процессе разработки находится программа ПРОТЕЙ-6А, которая позволит напрямую получать графическое представление результатов распознавания при произвольном количестве эталонов, обеспечиваемое применением программы 5А.

Визуальный анализ полученных результатов — неотъемлемая часть компьютерного прогнозирования рудных объектов. В приведенном примере сопоставление полученных прогнозных данных с исходными материалами показало достоверность расчетов по отношению к известным рудным объектам, что позволяет надеяться на общую достоверность прогноза.

Результатом прогнозирования россыпных месторождений золота и месторождений золото-кварцевой формации стало выявление шести перспективных ячеек (см. рис. 4.4.8). На рисунке эти площади окрашены синим цветом. Отмечается общая приуроченность распознанных площадей, к соседним площадям с известными золоторудными объектами.

Кроме того, по результатам проведенного компьютерного прогнозирования на площади листа N-53 выделено семь перспективных на олово площадей (листов масштаба 1:50 000) (рис. 4.4.9).

2. Прогнозирование алмазоносных площадей с применением программного комплекса КОЛАН

Прогноз исследуемой территории Вилюйско-Мархинской тектоно-магматической зоны (ВМТЗ) на алмазоносные кимберлиты, проведенный во ВНИИГеолнеруд [72, 73, 154], осуществлялся на двух масштабных уровнях: региональном (1:500 000) и локальном (1:200 000). С использованием созданных баз данных и ранее построенных моделей путем применения факторного анализа и метода распознавания образов по космогеологическим, геофизическим и геолого-структурным признакам в автоматизированном (компьютерном) режиме строятся прогнозные модели регионального и локального уровней (по программе КОЛАН).

Применявшаяся компьютерная технология прогнозной оценки основана на поиске аналогий путем обучения компьютера

на эталонных площадях, вмещающих промышленные месторождения определенного геолого-генетического типа, с тем, чтобы определить факторы и критерии контроля оруденения и смоделировать благоприятные условия формирования рудных объектов на других — оцениваемых — площадях, характеризующихся набором аналогичных факторов и критериев.

Подобные признаки представляют собой в сущности прогнозно-поисковые критерии: космогеологические, геофизические, структурные, геодинамические (тектонифизические), образующие системную совокупность, обусловленную действием какого-либо фактора, например, реализацией тектонического поля напряжений в результате внедрения магматических масс (кимберлитовой магмы), либо процессами рифтогенеза на определенном этапе тектоно-магматического цикла и др. Такая совокупность критериев названа нами *рудным факторным системным комплексом* (РФСК) и характеризуется собственным числовым значением — параметром *потенциальной рудоносности* (ПР). РФСК устанавливается в результате факторного анализа исследуемых признаков, а затем путем расчета параметра ПР по регулярной сети исследуемого региона оконтуриваются перспективные на оруденение площади на оцениваемой территории.

Региональная прогнозная модель Вилюйско-Мархинской тектоно-магматической зоны (ВМТЗ) на алмазонасные кимберлиты.

В качестве эталонного объекта была выбрана Мирнинская площадь, в пределах которой располагаются восемь алмазонасных кимберлитовых тел той или иной промышленной ценности. Оценка перспектив проводилась на территории Ыггыаттинского и Мало-Ботубинского районов.

Анализ ранее построенных системных моделей (космогеологической, геолого-структурных и физико-геологических), а также РФСК регионального уровня позволяет сделать следующие выводы:

Рудоконтролирующее значение имеет ортогональная система линеаментов ($0-10^\circ$ и $80-90^\circ$). Особенно важна роль субмеридиональных линеаментных зон, в динамическом отношении являющихся для среднепалеозойского времени структурами растяжения. Диагональные системы линеаментов (70° и 310°), проявившиеся в PZ_2 как потенциальные зоны сдвигов, определили размещение кимберлитовых тел. По кинематическим характеристикам диагональные системы 70° и 310° относятся

к типу правосторонних взбросо-сдвигов. На карте-схеме регионального прогноза Вилуйско-Мархинской тектоно-магматической зоны (рис. 4.4.10) видно, что дискретное расположение кимберлитоносных площадей обусловлено их приуроченностью к узлам пересечения субмеридиональных и северо-восточных (70°) зон линеаментов. Запад-северо-западные структуры (310°) визуальнo не имеют явно выраженной связи с расположением кимберлитоносных площадей, но, судя по ориентировке длинных осей известных в Мало-Ботуобинском районе кимберлитовых трубок ($310\text{--}315^\circ$), эти линеаменты определяют внутреннее строение кимберлитонесущих локальных купольных структур. Входящие в РФСК системы линеаментов 20° (сбросо-сдвиг), 50° (взбросо-сдвиг) играли, по-видимому, локальную роль в размещении конкретных кимберлитовых тел.

1. Практически все кимберлитовые площади располагаются в «квадрантах» растяжения ромбической динамической сети исследуемой территории (т. е. в острых углах ромбических блоков с взбросово-сдвиговой составляющей их сторон). Другими словами, кимберлитовые площади располагаются на участках с такой динамической обстановкой, где на общем фоне регионального сжатия проявлено локальное поле компенсационного (сдвигового) растяжения и, таким образом, созданы условия для разгрузки глубинного кимберлитового очага.

2. Кимберлитоносные площади располагаются на краях положительных структур платформенного чехла среднепалеозойского плана (Мирнинский, Сюльдюкарский, Сюдджерский выступы), граничащих с желобами субширотного простирания (Нелбинский, Хатырыкский и Еркютейский) на участках широкого развития локальных грабеновых структур меридионального простирания.

3. Кимберлитоносные площади хорошо коррелируются со структурным планом кровли осадочных толщ венда (поверхность КВ). Характерно, что глубина поверхности венда от дневной поверхности на этих площадях колеблется от 1,9 до 1,95 км.

4. Размещение кимберлитовых площадей в значительной степени зависит от характера изменчивости рельефа поверхности Мохо и граничной скорости упругих волн по нему. Под прогнозируемыми площадями глубина поверхности Мохо составляет 43,0–43,5 км, а граничная скорость упругих волн — 8,6 км/с.

Выделилась тесно связанная между собой положительной корреляцией группа признаков (ФСК), отрицающая связь с кимберлитовыми площадями. К этому ФСК относятся региональные линеаменты диагональной системы северо-северо-западного направления (330 и 340°), структуры рельефа кристаллического фундамента, параметры интенсивности регионального магнитного поля, а также трансформанты гравитационного поля. На наш взгляд, перечисленные признаки характеризуют в основном структурную позицию и вещественный состав докембрийского кристаллического фундамента. А последние, возможно, имели иную ориентировку векторов тектонических напряжений, нежели геологические комплексы платформенного и активизационного этапов развития. Тензор тектонических напряжений рассчитан с учетом геодинамической обстановки среднепалеозойского цикла — раскрытие Вилуйской рифтовой системы и латеральное перемещение Восточно-Сибирского континента в южном направлении (Шеремет О. Г., и др. 1982).

В результате прогнозной оценки Вилуйско-Мархинской тектоно-магматической зоны в Мало-Ботуобинском и Ыггыаттинском районах выделено 12 прогнозных кимберлитоносных площадей. Наиболее перспективными из них являются Верхне-Ыггыаттинская (Кютерская), Сордонгнахская, Средне-Ыггыаттинская, Багдаринская и Улегирская. Высокие перспективы этих площадей обусловлены высокими показателями параметра потенциальной рудоносности и расположением их благоприятной локальной геодинамической обстановке — в острых углах ромбических блоков.

Локальная прогнозная модель Мало-Ботуобинского кимберлитового района.

На локальной стадии прогноза оценивался на алмазонасные кимберлиты Мало-Ботуобинский кимберлитоносный район (Западная Якутия). Построение локальной прогнозной модели (масштаб 1 : 200 000) для данного района проводилось путем привлечения к анализу всех признаков, содержащихся в базах данных: структурных, геофизических и космогеологических. В ходе анализа производилась селекция кимберлитоконтролирующих признаков и выделение оптимального числа прогнозных критериев, т. е. расчет РФСК, на основе которых был проведен расчет коэффициента потенциальной рудонос-

ности и выделение перспективных прогнозируемых площадей (рис. 4.4.10).

Анализ ранее построенных системных моделей (космогеологической, геолого-структурных и физико-геологических), а также РФСК локального уровня позволяет сделать следующие выводы:

1. Кимберлитопоявления связаны со следующим динамическим системным комплексом линеаментных структур: $0^\circ + 60^\circ + 300^\circ + 330^\circ$. Отсюда следует, что алмазоносные кимберлиты предположительно сформированы в динамическом поле регионального сжатия с локальными полями компенсационного растяжения. Наиболее характерно для размещения кимберлитовых полей наличие двух кинематических типов разрывных структур — взаимопересекающихся взбросо-сдвигов и сбросо-сдвигов.

2. Из всего перечисленного ранее набора геофизических признаков, характеризующих физико-геологическую модель Мало-Ботубинского района, в состав РФСК в качестве кимберлитоконтролирующих вошли следующие: а) интенсивности магнитного поля, б) горизонтального градиента магнитного поля, в) остаточного магнитного поля, г) осредненного магнитного поля, д) характер распределения верхних кромок магнитовозмущающих объектов.

3. Из числа геолого-структурных моделей по различным уровням временных срезов, наиболее информативными для прогноза кимберлитовых тел оказались модели поверхностей осадочных толщ венда (горизонт КВ) и метегерской свиты среднего кембрия. Кимберлитовые тела приурочены к участкам с наиболее высоким стоянием означенных стратиграфических горизонтов, т. е. к положительным структурам нижнепалеозойского осадочного чехла.

В результате оперативной прогнозной оценки территории Мало-Ботубинского района на кимберлитовые тела на основе расчета коэффициента потенциальной рудоносности было выделено 17 перспективных прогнозных участков с рекомендациями постановки на них буровых и детальных шлиховых и геофизических работ (рис. 4.4.10).

Глава 5. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ГМК

5.1. Технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований в областях фанерозойской складчатости

Процесс изучения рудоконтролирующих геологических образований включает следующие операции:

— картографирование потенциально рудоконтролирующих тел (прослеживание на поверхности, под покровом рыхлых отложений, а также ниже уровня эрозионного среза вмещающего их породного комплекса);

— изучение их вещественного состава и других характеристик для предварительной оценки рудоконтролирующей роли (предшествующей детальному изучению их пространственной связи с объектами прогнозирования);

— объемное геолого-геофизическое моделирование (для потенциально рудоконтролирующих плутонов, вулканических построек и других достаточно крупных геологических тел, контролирующих рудные районы и узлы с рудно-геохимической зональностью, согласной с расслоенностью плутонов или стратификацией вулканогенных, осадочных, метаморфических комплексов или формаций); уточняемые при этом размеры, форма и внутренняя структура моделируемых тел также могут являться параметрами оценки их рудоконтролирующей роли (например, крупные размеры мафит-ультрамафитовых или щелочных плутонов и высокая степень их дифференциации могут свидетельствовать о вероятно значительной их рудоносности).

При ГМК-500 в складчатых областях в качестве потенциально рудоконтролирующих геологических образований изучаются:

— структурно-формационные зоны (уточняются их границы), крупные тектонические блоки в их пределах, региональные

разрывные структуры, разделяющие или пересекающие структурно-формационные зоны;

— различные структурные этажи в пределах структурно-формационных зон;

— геологические формации (осадочные, интрузивные, вулканогенные, метаморфические, региональные гидротермально-метасоматические) и их ассоциации;

— поверхности региональных несогласий;

— фации регионального метаморфизма;

— надынтрузивные зоны, надкупольные зоны крупных гранитогнейсовых куполов;

— вулкано-тектонические структуры;

— крупные кольцевые структуры;

— региональные геофизические аномалии различной природы;

— региональные аномалии радиоактивного калия, урана и тория (по данным аэрогамма-спектрометрии);

— элементы зональности регионального геохимического поля, а также рудно-геохимической зональности.

При ГМК-200 в качестве потенциально рудоконтролирующих образований изучаются относительно небольшие объекты площадью от долей км² до десятков, иногда сотен км²:

— геологические тела различной формационной принадлежности и состава (осадочные, интрузивные, вулканогенные, метаморфические, локальные гидротермалиты) и их ассоциации;

— разрывные и складчато-разрывные структуры;

— поднятые и опущенные тектоническими блоками;

— поля распространения малых интрузивных или субвулканических тел;

— надкупольные зоны гранитогнейсовых куполов, надынтрузивные зоны и элементы рельефа кровли плутонов;

— локальные элементы вулкано-тектонических структур;

— локальные кольцевые структуры;

— локальные геофизические аномалии различной природы;

— локальные аномалии радиоактивного калия, урана и тория (по данным аэрогамма-спектрометрии);

— проявления локальных гидротермалитов;

— геохимические аномалии, локальные элементы геохимической, рудной и гидротермально-метасоматической зональности.

Конкретный перечень изучаемых (картографируемых) геологических тел определяется типом прогнозируемого оруденения.

Прослеживание рудоконтролирующих осадочных, интрузивных, вулканогенных, метаморфических, гидротермально-метасоматических образований и геологических структур, перечисленных выше, осуществляется с применением комплекса методов, включающего маршрутные геологические наблюдения, геофизические методы (табл. 5.1.1) и результаты дешифрования МДЗ, при необходимости в ограниченных объемах проводятся горнопроходческие работы, бурение и картаж скважин.

Геофизические методы играют решающую роль в комплексе методов картирования рудоконтролирующих геологических образований и весьма существенную (наряду с геохимическими методами) при изучении поисковых признаков.

Геофизические материалы содержат важнейшую информацию о глубинном строении, используемую для прогнозных построений, составлении геологических разрезов на глубину, превышающую интервал непосредственного изучения, а также объемных моделей рудных районов, узлов, полей или контролирующих их геологических тел. Геофизические материалы совместно с МДЗ являются определяющими при оптимальном задании геологических маршрутов, размещении горных выработок и скважин на площади проведения ГМК, способствуя минимизации затрат на полевые работы.

При изучении рудоконтролирующих геологических образований и поисковых признаков геофизические методы применяются:

1) для районирования изучаемой площади по значениям физических полей;

2) для предварительного выделения объектов прогнозирования (рудных районов, узлов, полей и месторождений) по комплексу косвенных, а также и прямых геофизических признаков;

3) для непосредственного изучения рудоконтролирующих геологических образований — рудоносных осадочных, магматических, метаморфических, гидротермально-метасоматических образований, рудоконтролирующих разрывных и складчатых структур;

4) для выявления геофизических поисковых признаков, обусловленных непосредственно рудными телами, а также околорудными гидротермально измененными породами;

5) для уточнения уровня эрозионного среза месторождений и рудопроявлений;

6) для объемного геолого-геофизического изучения рудных районов, узлов и полей;

7) для изучения размеров и вещественного состава рудных проявлений и рудопродуктивных гидротермалитов.

Применение геофизических методов при изучении рудо-контролирующих геологических образований обеспечивается:

1) использованием геофизических материалов предшественников;

2) геофизическими работами на опорных геолого-геофизических профилях;

3) площадными геофизическими работами;

4) профильными или площадными геофизическими работами повышенной детальности на эталонных участках, а также выборочно в пределах потенциальных рудных районов, зон, узлов при ГМК-500, 200 или рудных полей при ГМК-200;

5) систематическим изучением физических свойств всех горных пород, слагающих рудоконтролирующие геологические образования, околорудные гидротермалиты, рудные тела, а также всех разновидностей вмещающих пород.

6) комплексной интерпретацией геофизических материалов совместно с геологическими, геохимическими материалами и МДЗ.

Комплекс геофизических методов определяется прежде всего типом геологического строения площади ГМК. На площадях, где широко развиты вулканогенные, интрузивные или метаморфические образования, основу комплекса геофизических методов составляют гравиразведка и магниторазведка. В пределах площадей с преобладающим развитием в составе стратифицированных толщ осадочных образований этот комплекс при необходимости может быть дополнен профильной сейсморазведкой КМПВ и (или) электропрофилеированием. В значительной степени комплекс применяемых геофизических методов зависит также от наличия, мощности и состава покровных отложений, от особенностей прогнозируемых рудных формаций и типов рудоконтролирующих геологических образований (табл. 5.1.1).

При ГМК-200 в районах развития месторождений с вкрапленными сульфидными рудами или с пиритсодержащими околорудными гидротермалитами в комплекс геофизических

методов целесообразно включать электроразведку ВП (ЕП), а при оценке выявленных рудопоявлений с вкрапленными сульфидными рудами — ВЭЗ-ВП, с массивными сульфидными рудами — МПП, а также методы скважинной геофизики.

При изучении рудоконтролирующих геологических образований проводится районирование изучаемой территории по данным площадных геофизических съемок на основе исследования характера магнитного, гравитационного и других физических полей и совмещения признаков по комплексу методов. При этом исследуется морфология физических полей с учетом конфигурации, ориентировки, размеров, интенсивности, наличия отдельных аномалий, изрезанности, контрастности и других особенностей. Выделяются участки, различающиеся по особенностям физических полей, прослеживаются зоны больших горизонтальных градиентов напряженности поля, резкой смены простирания аномалий, нарушения их корреляции и т. п. Осуществляется совмещение признаков, установленных по данным различных геофизических методов, и выделяются площади предполагаемого распространения различных литофизических комплексов пород, их границы, вероятные зоны дизъюнктивных нарушений и т. п.

Составляется схема комплексной интерпретации и опознаются геологические тела, разрывы, выделенные на предыдущем этапе на основе геологических наблюдений и петрофизических данных, а также по аналогии с уже изученными объектами. Оконтуриваются и прослеживаются рудоконтролирующие геологические тела, границы и тектонические нарушения с использованием карт графиков и изолиний наблюдаемых и трансформированных физических полей с применением приемов качественной интерпретации и с учетом данных дешифрирования МДЗ.

Проводится комплексная количественная интерпретация отдельных аномалий физических полей с целью построения геолого-геофизических моделей изучаемых рудоконтролирующих геологических тел и структур. Достоверность количественной интерпретации увеличивается при использовании данных геофизических измерений, выполненных с повышенной детальностью и точностью на опорных и интерпретационных профилях [98, 99].

Выбор геофизических методов определяется геологическим строением изучаемой площади, условиями проведения работ,

степенью ее геофизической изученности, контрастностью рудоконтролирующих образований по тем или иным физическим свойствам (плотности, магнитной восприимчивости, электрическому сопротивлению, упругим свойствам и др.), стоимостью каждого из методов с учетом условий проведения работ и транспортировки оборудования, а также возможностью в конкретных условиях площади ГМК минимизировать комплекс геофизических методов и (или) их детальность, с учетом высокой информативности дистанционных методов.

Прослеживание рудоконтролирующих геологических образований ниже уровня эрозионного среза рудовмещающего складчатого породного комплекса (обнаженного или перекрытого рыхлыми отложениями) осуществляется по результатам интерпретации геофизических исследований, в основном данных гравиразведки и (или) магниторазведки, методом подбора на компьютере в диалоговом режиме по серии профилей, в качестве вспомогательных могут использоваться данные электроразведки, сейсморазведки МОВ и КМПВ (как правило, уже имеющиеся) [32, 99, 149, 152].

Геохимические методы при изучении минерагенических факторов и поисковых признаков при ГМК-500 и ГМК-200 в складчатых областях применяются:

1. Для геохимического районирования площади ГМК-500.
2. Для выявления и оконтуривания геохимических ореолов рудных районов, зон, узлов (при ГМК-500 и ГМК-200), рудных полей и месторождений (при ГМК-200).
3. Для уточнения формационной принадлежности рудных объектов и оценки уровня их эрозионного среза.
4. Для корреляции, формационной диагностики и оценки потенциальной рудоносности магматических, осадочных, метаморфических, гидротермально-метасоматических образований.
5. Для оценки рудоконтролирующей роли разрывных структур различных порядков.

Решение перечисленных задач обеспечивается:

1. Комплексными геохимическими работами на опорных геолого-геофизических профилях;
2. Площадными исследованиями на всей территории проведения ГМК или на наиболее перспективной ее части — 1) по вторичным ореолам (атмо-, гидро-, био-геохимическим, наложенным ореолам в почве и подпочвенном слое), 2) по первич-

ным ореолам, 3) аэрогамма-спектрометрическими, 4) шлиховыми и шлихо-геохимическими.

3. Профильными или площадными геохимическими работами в пределах потенциальных объектов прогнозирования — рудных районов, зон узлов, рудных полей. (Изучение вторичных ореолов, глубинная литогеохимия, метод частичного извлечения металлов — ЧИМ).

4. Геохимическим изучением керна скважин.

5. Гидрогеохимическим опробованием скважин.

6. Комплексной интерпретацией геохимических материалов с учетом всей совокупности геологической и геофизической информации.

Выбор оптимальной схемы проведения геохимических работ при ГК различных масштабов зависит от ландшафтно-геохимических условий, особенностей объектов прогнозирования, а также от наличия, мощности и состава покровных отложений.

Мощность покровных отложений и ландшафтно-геохимические условия учитываются при выборе комплекса геохимических методов на основе районирования площади по условиям ведения поисков, с учетом опыта работ в сходных обстановках.

На участках, в пределах которых рудопродуктивные породные комплексы перекрыты рыхлыми отложениями, проводятся геохимические исследования по вторичным ореолам (атмо-, гидро-, био-геохимическим, наложенным ореолам в почве и подпочвенном слое), а также глубинная литогеохимия [149, 152].

Методы, основанные на изучении вторичных ореолов, информативны при мощности платформенных отложений до 100–150 м, а в благоприятных обстановках — при значительно большей. Глубинная литогеохимия на основе применения бурения с гидротранспортом керна в настоящее время технически возможна при мощности покровных отложений до 500 м, если в них отсутствуют горизонты твердых пород, а также крупноглыбовые и крупногалечные отложения.

Опытно-методические работы ВСЕГЕИ свидетельствуют, что геохимические методы, основанные на изучении вторичных ореолов, обладают высокой информативностью не только при выявлении ореолов погребенных рудных полей и месторождений, но и рудоносных площадей более высокого ранга —

рудных районов, зон, узлов, а гидрогеохимический метод, кроме того, весьма эффективен при оценке геохимической специализации структурно-формационных зон. Подробный обзор методов геохимических съемок по вторичным ореолам на закрытых территориях и примеры их применения при изучении погребенного фундамента приведены в работе [152].

На участках площади, частично или полностью перекрытых рыхлыми отложениями, прослеживание рудоконтролирующих магматических, осадочных, метаморфических образований, разрывных нарушений, а также поисковых признаков должно осуществляться преимущественно геофизическими и геохимическими методами, с минимальным количеством горных и (или) буровых работ. При проведении последних предпочтение должно отдаваться бурению с гидротранспортом керна (если в покровных отложениях отсутствуют горизонты твердых пород, а также крупноглыбовые и крупногалечные отложения). Дистанционные методы на таких площадях применяются в качестве вспомогательных (в основном при картографировании разрывных нарушений). В некоторых случаях в качестве вспомогательных целесообразно применение геоморфологических наблюдений в комплексе с ландшафтно-индикационными и морфометрическими исследованиями. Подробное описание методов изучения и оценки рудоконтролирующей роли погребенных осадочных, вулканогенных, интрузивных, метаморфических, гидротермально-метасоматических образований, тектонических структур приведено в работе [152].

Изучение минерагенических факторов и поисковых признаков должно быть проведено с детальностью, обеспечивающей полноту выявления закономерностей размещения полезных ископаемых заданных (указанных в геологическом задании в качестве объектов прогнозирования) формационных или геолого-промышленных типов, а также полноту и достоверность выделения и оконтуривания потенциальных рудных, рудно-россыпных, россыпных, угольных, горючесланцевых районов, узлов (при ГМК-500) и полей, в том числе слепых и погребенных (при ГМК-200), оценку их прогнозных ресурсов.

При изучении вещественного состава типов потенциально рудоконтролирующих геологических тел, околорудных гидротермалитов и тел полезных ископаемых, прежде всего, используются результаты лабораторных исследований предшественников (при приемлемом их качестве), дубликаты проб,

прозрачные и полированные шлифы, а при отсутствии или недостаточности тех или иных материалов производится отбор проб и заготовок шлифов из обнажений, горных выработок, керна ранее пробуренных скважин.

5.2. Технологии изучения рудоконтролирующих геохимических образований в областях докембрийской складчатости

Технология изучения рудоконтролирующих геологических образований в областях докембрийской складчатости, включая информативные методы исследований (геофизические, геохимические, МДЗ), принципиально не отличается от технологии изучения рудоконтролирующих образований в фанерозойских складчатых областях, рассмотренной в разд. 5.1. Типы рудоконтролирующих геологических тел, являющиеся объектами картографирования, также в значительной мере перекрываются. Однако относительная роль последних различна, в связи с различием наиболее важных объектов прогнозирования. Прежде всего возрастает рудоконтролирующая роль метаморфических формаций. Последние в областях докембрийской складчатости контролируют важнейшие в промышленном отношении месторождения железа, титана, лития, цезия, бериллия, урана, золота, мусковита, флогопита, вермикулита и др. Также значительную роль играют месторождения сульфидного никеля, хромитов, платиноидов, контролируемые ультра-мафит-мафитовыми и мафит-ультрамафитовыми расслоенными массивами.

Для примера в табл. 5.2.1 приведены типы рудоконтролирующих геологических образований (минерагенические факторы I-го рода), контролирующие месторождения формаций: медно-никелиевых сульфидных руд, платиноносных расслоенных интрузий, золото-урановых конгломератов, комплексных урановых руд в зонах несогласия, золото-кварцевой на древних щитах.

Технология комплексного изучения минерагенических факторов ниже рассматривается на примере Анабарского щита Сибирской платформы. Исходными для анализа являлись геологическая карта и результаты гравиметрической и магнитной съёмок масштаба 1 : 1 000 000, а также космические снимки малого и среднего разрешения.

Анабарский щит слагают крупные стратиграфические серии глубоко метаморфизованных пород архея, вытянутые в север-

северо-западном направлении и осложненные рядом мелких антиклинорий и синклинорий. Древние разломы того же простирания четко маркируются полосами полиметаморфических диафторированных и гранитизированных пород. Магматизм архей-протерозойского возраста проявлен гипербазитами (малые тела и линзы в центральных зонах разломов), анортозитами (анортозиты-нориты-габброанортозиты, диориты-кварцевые монцониты), калиевыми биотитовыми гранитами и их мигматитами (небольшие линзовидные и пластовые безкорневые тела, часто сближенные и в сумме образующие большие гранитоидные массы); двуслюдяными гранитами и мусковитовыми пегматитами. Окружающий щит осадочный чехол по составу и возрасту слагающих его образований разделяется на позднепротерозойский (рифейский), ранне-среднепалеозойский и позднепалеозойско-мезозойский структурные комплексы, которые отвечают стадиям формирования ранних, зрелых и поздних синеклиз. Магматические проявления этого времени представлены основными и ультраосновными формациями (траппы, карбонатиты, кимберлиты) позднепротерозойско-раннепалеозойского, среднепалеозойского и позднепалеозойско-раннемезозойского возраста, что свидетельствует о неоднократной активизации территории после консолидации фундамента.

Металлогения щита определяется как составом слагающих его толщ с продуктами метаморфизма, так и проявлениями разновозрастных тектоно-магматических активизаций, способствующих их изменению и усложнению. Инъекционные ареальные структурно-металлогенические зоны раннего архея представлены системами мелких рассредоточенных до-метаморфических син- и посткинematических безкорневых тел ультрабазитов, обладающих повышенными содержаниями меди, никеля, хрома, а также интрузиями аляскитовых и чарнокитовых гранитов с редкоземельно-редкометалльной специализацией. Структурно-металлогенические зоны позднего архея—раннего протерозоя совпадают с глубинными разломами, а мелкие проявления руд (Cu, Mo, RT) локализованы в участках милонитизации и расщелачивания вдоль краевых швов, метасоматоза вблизи гранитоидных интрузий и областей максимальной гранитизации (сульфидная и редкоземельная минерализация), пегматизации (мусковит и редкометалльная минерализация). Инъективные ареальные участки этого возраста

представлены интрузиями габбро-норит-анортозитовой и гранит-гранодиорит-граносиенитовой формаций с вкрапленными титан-магнетитовыми рудами. В россыпях на щите отмечено в виде мелких зерен золото. В титаново-магнетитовых оливинитах Маймеча-Котуйской провинции присутствует платина и платиноиды. В металлотрических ореолах (вместе с Pb, Zn, Cu) обнаружено серебро. Медь и никель в виде рудопроявлений обнаружены в протерозойской габбро-диабазовой дайке, пирротиновых жилах, обломках кристаллических сланцев с вкрапленностью пирротина, пирита и халькопирита [13]. С фанерозойским этапом развития этой территории в платформенном режиме связано внедрение в древние толщи карбонатитов и кимберлитов.

Учитывая особенности геологического строения и историю развития этой площади, в ее пределах теоретически можно предположить возможность формирования крупных месторождений медно-никелиевых сульфидных руд докембрия, платиновых руд в связи с расслоенными интрузиями, золото-урановых руд в связи с конгломератами, комплексных уран-никелиевых и уран-медных руд в связи с зонами несогласия, руд золото-кварцевой формации древних щитов.

Для создания оптимальных прогнозных моделей искоемых типов оруденения необходим набор признаков, характеризующих различные стороны геологического строения территорий и историю их развития. Эти сведения извлекаются в процессе анализа существующих геологических карт, геофизических полей, космических снимков. Используемые при этом приёмы значительно различаются между собой.

Результаты картографирования площади анализируются с целью извлечения информации о площадном распространении различных по составу и возрасту метаморфических, магматических и осадочных образований; морфологии и характере развития тектонических нарушений; типах и интенсивности вторичных преобразований пород; формах активизационных процессов и следов их проявления. Материалом для анализа служат геологические карты и схемы, имеющиеся в опубликованной геологической литературе по регионам.

Следует подчеркнуть, что прогнозная оценка территории должна проводиться отдельно для областей выхода на поверхность древнего кристаллического фундамента и для фанерозойских толщ, формирующих платформенные покровы. Для

архейских кратонов фундамента ведущими типами оруденения являются золото-сульфидно-кварцевая, сульфидно-медно-никелевая, хромитовая, хромисто-железородная и редкометалльно-пегматитовая формации. Для раннепротерозойских подвижных поясов характерны формации железистых кварцитов, колчеданно-полиметаллическая, апатит-ильменит-титаномагнетитовая в связи с анортозитами, редкометалльная и слюдяных пегматитов, олово-вольфрамовая. Для чехлов платформ типичны апатиты, газ и нефть, руды урана, свинца и цинка, ртути, золота. И в фундаменте, и в чехле могут локализоваться медно-никелевые и титано-магнетитовые месторождения, связанные с основными и ультраосновными интрузиями, алмазоносные кимберлиты и карбонатиты с редкометалльным оруденением.

Для включения в прогнозные модели, используемые для региональной оценки перспектив территории на возможность локализации руд меди и никеля, золота и серебра, платины, урана, а также алмазов, было проведено выделение некоторых известных геологических факторов их контроля, охарактеризованных выше. Это сведения о глубине залегания кровли кристаллического фундамента; разломах, установленных при наземных геологических съемках территорий; зонах нижнепротерозойского метаморфизма и ультраметаморфизма, массивах анортозитов и гранодиоритов; участках активизации позднего протерозоя, маркирующихся интрузиями и дайками диабазов и габбро-диабазов; участках активизации раннего палеозоя, отмеченных интрузиями и дайками диабазов и габбро-диабазов; участках активизации фанерозоя, отмеченных интрузиями и дайками долеритов, габбро-долеритов, трахидолеритов, трахиандезитов, щелочных и щелочно-ультраосновных интрузий нефелинитов, альнеитов, оливинитов, карбонатитов, покровами траппов, дайками и трубками кимберлитов. Анализ этих материалов свидетельствует о значительных изменениях в структурном контроле метасоматических и магматических образований, по которым в основном и фиксируются следы активизационных процессов. Результаты отражены на серии специализированных схем.

Материалы площадных геофизических съемок (гравитационных, магнитных, спектрометрических) привлекаются с целью изучения особенностей структуры и вещественного состава фундамента, которые способны влиять на локализа-

цию объектов прогнозирования. Для обеспечения более объективного процесса их интерпретации проводятся необходимые компьютерные трансформации: осреднение с различными окнами; вычисление разностных (локальных) аномалий, полного горизонтального градиента гравитационного потенциала; вычисление горизонтального градиента гравитационного потенциала по направлениям; расчет второй производной силы тяжести (вертикального градиента) по направлениям; расчет кривизны урвенной поверхности гравитационного потенциала по направлениям и т. д.

На основании совместного анализа гравиметрических и магнитных материалов построена структурно-геофизическая схема, на которой отражены как линейные, так и площадные элементы строения земной коры щитов.

Результаты формального выделения линейных, дуговых и кольцевых элементов ландшафта по фотопланам и космическим снимкам малого и среднего разрешения характеризуют общий план тектонической трещиноватости территории, выявляют геологические структуры изометричной формы (купола, кальдеры, интрузии, узлы пересечения разломов, участки обводнения и гидротермального изменения пород и т. д.). Густая сеть линеаментов обычно не позволяет характеризовать площади без предварительной обработки и фильтрации полученных данных. Методы обработки результатов дешифрирования линеаментов и кольцевых структур с помощью компьютеров дают возможность в удобных и компактных графических и картографических формах демонстрировать латеральные изменения количественных характеристик, разделять (фильтровать) информацию на составляющие, что позволяет на новом уровне информативности, освобожденном от субъективных воззрений, проводить ее интерпретацию. Специализированный качественный и количественный анализ размещения этих признаков в целом и их отдельных составляющих является хорошей основой для изучения особенностей строения территории и выявления наиболее благоприятных площадей для локализации различных руд.

На основании анализа и обработки результатов сводного дешифрирования линеаментов составлена космоструктурная схема, на которой отражено взаимодействие разноранговых тектонических образований, проявленных в современном ландшафте.

Минерагенические факторы, способные в той или иной степени отражаться в материалах космического зондирования, в общем случае разделяются на структурные и вещественные. Наибольший эффект достигается при изучении структурных факторов, к которым прежде всего относятся разрывные нарушения. На щитах наибольший интерес представляют древние соскладчатые нарушения, а также секущие их, сформированные в результате более поздних циклов тектоно-магматических активизаций. Вещественные факторы играют подчиненную роль и могут использоваться лишь для картирования крупных геоморфологических, стратиграфических и магматогенных подразделений.

5.3. Технологии изучения рудоконтролирующих геологических образований платформенного чехла

В платформенном чехле по условиям залегания можно выделить две преобладающие группы месторождений полезных ископаемых: согласные (стратиформные) и секущие. Первые залегают согласно в определенных осадочных, вулканогенно-осадочных формациях, структурно-формационных комплексах на определенных стратиграфических уровнях платформенного чехла; они типичны как для платформенных чехлов с преимущественным развитием осадочных формаций, так и для чехлов с широким развитием магматических образований. Месторождения полезных ископаемых второй группы в большей степени характерны для платформенных чехлов с широким развитием магматических образований.

Особенности прогнозирования согласных месторождений в платформенном чехле определяются тем, что большинство из них имеют значительные площади и потому наличие на поверхности еще не открытых месторождений подобного типа в большинстве регионов мало вероятно. В силу этого для выявления новых месторождений этого типа в большинстве случаев ГМК должно быть ориентировано на прогнозирование объектов, не выходящих на поверхность. При прогнозировании согласных месторождений, наряду с формационными критериями, решающая роль принадлежит стратиграфическим и литолого-фациальным. Непосредственно в процессе картографирования рудоконтролирующих образований главную роль играет литолого-стратиграфическое расчленение разреза стратифициро-

ванных отложений (и прослеживание последних) выявление, прослеживание и изучение рудоконтролирующих фаций.

Особенности прогнозирования секущих месторождений в платформенном чехле с широким развитием магматизма прежде всего определяются сложностью процесса изучения рудоконтролирующих геологических образований, вследствие экранирующей роли вулканитов, что усложняет процесс интерпретации геофизических материалов. Дополнительные сложности создает свойственная платформенному чехлу этого типа сильная деформированность слоистых образований, обусловленная активными тектоническими движениями, а также интрузивным магматизмом и диапиризмом. Это относится также и к изучению геологических образований, контролирующих согласные месторождения, залегающие в платформенном чехле этого типа. В связи с этим при изучении рудоконтролирующих геологических образований в платформенном чехле рассматриваемого типа, для корреляции и прослеживания стратифицированных образований, важное значение приобретают такие операции как восстановление первичного строения осадочных отложений, измененного под воздействием траппового магматизма, а также реконструкции палеорельефа [168, 169 и другие работы].

Главные типы рудоконтролирующих образований (минерогенические факторы I рода), картографируемые в процессе ГМК:

А. При прогнозировании согласных (стратиформных) месторождений полезных ископаемых.

1. Антеклизы, синеклизы (ГМК-500).
2. Глубинные разломы (ГМК-500, ГМК-200).
3. Региональные несогласия (ГМК-500, ГМК-200).
4. Интервалы повышенных содержаний элементов-индикаторов в разрезе чехла.
5. Палеодолины (ГМК-200).
6. Локальные горсты и грабены, положительные и отрицательные складчатые структуры (ГМК-200).
7. Стратиграфические горизонты, соответствующие рудоносным эпохам (ГМК-500, ГМК-200).
8. Рудоносные формации (ГМК-500, ГМК-200).
9. Рудоконтролирующие фации (ГМК-200).
10. Рудные залежи (ГМК-200 — в благоприятных случаях).

Б. При прогнозировании секущих месторождений полезных ископаемых.

1. Области с благоприятными для прогнозируемой рудной формации параметрами строения земной коры (ГМК-500).
2. Рифты (ГМК-500).
3. Глубинные разломы (ГМК-500, ГМК-200).
4. «Прозрачные» геохимические зоны (ГМК-500, ГМК-200*).
5. Рудоносные магматические формации (ГМК-200).
6. Локальные разрывные структуры (ГМК-200).
7. Локальные геохимические, шлиховые, шлихо-геохимические ореолы (ГМК-200).
8. Геофизические аномалии рудной природы (ГМК-200).

Примеры критериев прогнозирования некоторых согласных месторождений полезных ископаемых приведены в табл. 5.3.1, секущих — в табл. 5.3.2.

Изучение рудоконтролирующих геологических образований при прогнозировании месторождений в платформенном чехле производится с применением комплекса геологических, геофизических методов, МДЗ (табл. 5.3.3).

Из приведенного перечня минерагенических факторов и данных из табл. 5.3.2 видно, что прогнозирование секущих месторождений, залегающих в платформенном чехле, практически не отличается от прогнозирования секущих месторождений в складчатых областях. Это в полной мере относится и к технологии изучения геологических образований, контролирующих эти месторождения.

Технология изучения рудоконтролирующих геологических образований платформенного чехла применительно к прогнозированию согласных месторождений базируется на следующих принципах.

1. Непосредственно в процессе изучения рудоконтролирующих образований главную роль играет литолого-стратиграфическое расчленение разреза стратифицированных отложений и прослеживание последних, выявление, прослеживание и изучение рудоконтролирующих фаций.

* Под «прозрачной» геохимической зоной понимается зона, внутри которой весь разрез чехла обладает тенденцией к концентрации одной и той же группы химических элементов независимо от формационной принадлежности, литологического состава и возраста стратифицированных образований (Певзнер, 1997).

2. Изучение рудоконтролирующих стратифицированных геологических образований должно начинаться с осмотра типичных разрезов в коренном залегании и по керну ранее пройденных скважин.

3. Маршрутные наблюдения и буровые профили проводятся в направлении максимальной фациальной изменчивости рудоконтролирующих горизонтов.

4. С целью минимизации затрат на буровые работы буровые профили и скважины на профилях задаются с учетом комплексной интерпретации результатов маршрутных наблюдений, геофизических данных и МДЗ, всех имеющихся материалов предшественников (геологических, геофизических, геохимических). Если по организационным причинам геофизические исследования к началу буровых работ не завершены, бурение проводится на той части площади, которая уже обеспечена геофизическими материалами, и по мере их готовности распространяется на другие части площади. Буровые профили и скважины задаются с таким расчетом, чтобы каждый профиль и каждая скважина решали конкретную задачу по расчленению (или уточнению) разреза, выделению и прослеживанию рудоконтролирующих горизонтов и фаций. Основным геофизическим методом изучения разреза стратифицированных образований является ВЭЗ. Сейсморазведка применяется для решения тех задач, которые не могут быть решены по данным ВЭЗ, на единичных профилях. В частности — на интерпретационных профилях, в том числе для обеспечения более точной интерпретации результатов ВЭЗ на остальной площади. При наличии в разрезе магматических образований применяются магниторазведка и гравиразведка.

5. Интерпретация геофизических материалов должна быть обеспечена результатами лабораторного изучения физических свойств всех разновидностей горных пород и их статистической обработки по представительным выборкам, в первую очередь результатами изучения электропроводимости, в случае применения сейсморазведки — упругих свойств. Если применяются гравиразведка и магниторазведка, должны быть изучены плотность и магнитные свойства.

6. Бурение преобладающей части скважин должно осуществляться установками с гидротранспортом керна (КГК-100, КГК-300, КГК-500 — в зависимости от глубины непосредственного изучения, указанной в геологическом задании).

Оно отличается высокой производительностью при бурении по породам II–IV категорий с отдельными пропластками пород более высоких категорий по буримости и 100-процентным выходом керна.

7. Корреляция стратифицированных образований осуществляется по визуальным геологическим наблюдениям, результатам биостратиграфических, литолого-петрографических, минералогических, геохимических исследований, данным каротажа. Наиболее информативные методы каротажа — каротаж сопротивлений, гамма-каротаж, акустический каротаж, а при наличии в разрезе магматических пород — каротаж магнитной восприимчивости и различные виды плотностного каротажа. Во многих случаях для решения задач корреляции достаточно использовать стандартный каротаж (КС, ПС, ГК). Остальные методы каротажа целесообразно применять лишь в тех случаях, когда методы стандартного каротажа недостаточны.

8. По всему изучаемому разрезу стратифицированных образований должно проводиться геохимическое опробование с целью выявления интервалов повышенных содержаний элементов-индикаторов.

9. Вычленение собственно рудоконтролирующих частей разреза стратифицированных платформенных отложений начинается с выделения стратиграфических горизонтов, соответствующих рудоносным эпохам. В их пределах выделяется рудоносная формация, а в пределах последней — рудоконтролирующие фации. Литолого-фациальный анализ всего комплекса образований, возникших в рудоносную эпоху, является главной операцией прогнозно-минерагенических построений (Б. М. Михайлов, 2003). Анализ сопровождается составлением литолого-фациальных карт как основы таких построений.

На этих картах отображаются:

1. Границы современного распространения отложений картируемого стратиграфического горизонта (свиты, яруса, рудоносной формации).

2. Фациальные особенности и вещественный состав отложений.

3. Гипсометрическое положение картируемого горизонта, его мощность, глубина залегания.

4. Характер и состав области сноса.

5. Направления сноса обломочного материала.

6. Структурные и текстурные признаки пород.
7. Захоронения остатков флоры и фауны, на основании которых был определен объем и проведена корреляция рассматриваемых образований.
8. Расположение скважин, геофизических, геохимических аномалий, областей распространения типоморфных геохимических ассоциаций и другого фактического материала, на котором основаны прогнозные выводы.
9. Прогнозная нагрузка — контуры современного распространения комплексов пород, рудных полей, перспективные площади и др.

5.4. Технологии изучения рудоконтролирующих гипергенных образований

Основой технологий изучения рудоконтролирующих образований в районах, где объекты прогнозирования ГМК контролируются продуктами гипергенеза, является приводимая ниже последовательность решения главных задач.

1. Уточнение типов продуктов гипергенеза, контролируемых объекты прогнозирования, изучение их вещественного состава, зональности и физических свойств, установление признаков идентификации.

2. Установление форм рельефа, благоприятных для развития и сохранения рудоконтролирующих гипергенных образований.

3. Уточнение роли первичного субстрата в образовании рудоконтролирующих гипергенных образований.

4. Картографирование рудоконтролирующих типов гипергенных тел в пределах площадей, где сочетаются благоприятные для развития и сохранения гипергенных образований формы рельефа и геологические тела, являющиеся возможным субстратом для рудоносных (применительно к объектам прогнозирования ГМК) гипергенных образований.

5. Картографирование прямых и косвенных поисковых признаков на площадях благоприятного сочетания перечисленных факторов, изучение вещественного состава проявлений полезных ископаемых.

Эти задачи решаются с помощью полевых геологических и геоморфологических исследований (на первом этапе ГМК, преимущественно на эталонных участках), с использованием

МДЗ, геофизических и геохимических данных, а также лабораторных и камеральных исследований.

В процессе полевых исследований производится выявление и диагностика продуктов гипергенеза, их картографирование, определение их места в стратиграфической колонке и предварительная оценка рудоконтролирующей роли, составление разрезов с отбором проб для лабораторных исследований. Общим для полевого изучения продуктов гипергенеза является изучение их зональности и состава, начиная с пород субстрата. Полная характеристика продуктов гипергенеза включает тип гипергенных тел, их структурно-текстурные признаки (унаследованные и новообразованные), минеральный состав и физические свойства.

Объектами изучения являются следующие типы гипергенных образований (приводится по Б. М. Михайлову [115, 116, 117, 149 и другие работы]):

Латериты — горные породы верхней зоны коры выветривания, состоящие преимущественно из гидроксидов и оксидов железа, алюминия и титана с примесью каолинита. Латериты обычно сохраняют реликтовую текстуру субстрата. Часто над латеритами формируется кираса — каменистая порода, состоящая из обломков латерита и конкреционных образований с алюмо-железистым центром. Латериты возникают в жарком гумидном климате.

Глинистый элювий — глины, сохраняющие реликтовую текстуру материнских пород. Глинистый элювий обычно слагает основную массу коры выветривания и по минеральному составу подразделяется на гидрослюдистый, монтмориллонитовый и каолинитовый. Встречаются в различных поясах гумидного климата.

Физическая кора выветривания — продукты дезинтеграции, подвергшиеся физическому растрескиванию, дроблению породы, иногда частично гидратированные, но практически не изменяющие химического состава субстрата, например, доломитовая мука на выходах доломитов, щебнистые суглинки на гранитных батолитах Казахстана, курумники на долеритах Восточной Сибири и др.

Рудные шляпы — гипергенные тела, возникающие на выходах богатых сульфидами или другими легко окисляющимися соединениями пород. По составу конечных продуктов рудные шляпы подразделяются на *оксидные* и *сульфатные*. Первые

характерны для жарких и умеренных гумидных областей, вторые широко развиты в современных аридных зонах и зоне криолитогенеза.

Оксидные шляпы обычно имеют мощность многие десятки метров. Для них характерно резкое преобладание среди рудных минералов гидроксидов железа, а в глинистой фракции — галуазит-каолинитовой ассоциации.

Сульфатные шляпы характеризуются значительно меньшими мощностями (метры, до первых десятков метров) и присутствием хорошо выраженной зоны сульфатов железа, расположенной на небольшой глубине.

На земной поверхности как оксидные, так и сульфатные шляпы обнаруживаются по выходам бурых кавернозных железняков, образующих глыбовые развалы, часто с обломками кварца, частично замещенного гематитом. Содержание полезных компонентов (Cu, Zn, Pb, Au и др.) в бурых железняках, особенно оксидных шляп, иногда лишь немного превышает кларки. В основании оксидных железных шляп часто присутствуют зоны вторичного сульфидного обогащения, к которым приурочены наиболее богатые руды, содержащие ковеллин, халькопирит и другие минералы. Образование этой зоны, возможно, связано с подтоками флюидов из глубинных недр.

Продукты селективного растворения образуют разнородную по минеральному составу группу пород, возникающих при растворении карбонатных, сульфатных и галогенных пород. Одним из наиболее характерных образований этого типа является кепрок, обычно развитый над соляными куполами. В наиболее типичных случаях кепрок представлен внизу ангидритом и гипсом, вверх переходящими в пористый известняк, часто с серой, иногда с асфальтом и нефтью и наконец в плотный известняк. Известен кепрок, содержащий бораты и другие рудные минералы, встречающиеся в галогенно-сульфатно-карбонатных формациях в рассеянном состоянии.

Инфильтрационные коры — геологические тела, сложенные карбонатными, кремнистыми, сульфатными и другими корами выветривания, представленные иллювием, т. е. продуктами поверхностного замещения субстрата веществом, привнесенным извне. В зависимости от состава раствора, физико-химических и климатических обстановок состав и мощность инфильтрационных кор варьирует в значительных пределах. В природе, особенно среди кайнозойских отложений аридной и субаридной

зон, широко распространены карбонатные (каliche, калькрет), кремнистые (силькрет), сульфатные (существенно гипсовые — гажа) коры. Кроме того, известны фосфоритные коры (фосфоритовая плита), соляные коры (солонцы, солончаки) и др.

При ГМК-500 в основном картографируются не отдельные гипергенные тела, а площади их распространения, соизмеримые с рудными узлами, зонами (сотни км²), реже — с рудными полями (десятки км²). Выборочно исследуются единичные гипергенные тела с целью определения их типа, типовых размеров, характеристик вещественного состава, зональности, физических свойств.

При ГМК-200 картографируются гипергенные тела, реже — площади их распространения, соизмеримые с рудными полями. Детальное изучение характеристик вещественного состава и зональности производится выборочно.

В процессе предполевой подготовки производится сбор и обобщение материалов о геологическом строении района, составе и распространении кор выветривания, а также изучение характера рельефа. Главной задачей этих исследований является локализация площадей, в пределах которых должно проводиться полевое изучение гипергенных образований. По материалам предшественников, МДЗ и топографическим картам выделяются площади, в пределах которых могут сохраниться коры выветривания. Это обычно холмисто-равнинные территории — реликты пенепленизированных поверхностей. Дальнейшая локализация площадей для полевых исследований производится с учетом распространения геологических тел, которые могут являться субстратом для рудоносных кор выветривания (очевидно, например, что если объектом прогнозирования ГМК являются месторождения силикатных никелевых руд, полевые исследования гипергенных образований достаточно провести в пределах крупных тел ультрамафитов).

Коры выветривания редко встречаются в обнаженном состоянии и обычно частично или полностью перекрыты четвертичными отложениями разной мощности («открытый» тип) или платформенными отложениями (погребенный тип). В обоих случаях при их картировании важную роль играют геофизические методы, а также горные и буровые работы, проводимые в минимально необходимых объемах. Горные выработки и скважины для оптимизации их расположения целесообразно задавать по результатам интерпретации геофизических материалов.

Целесообразно также при проведении буровых работ осуществлять проходку большинства скважин с помощью установок картировочно-геохимического бурения с гидротранспортом керна, а традиционное колонковое бурение применять лишь в необходимых случаях (для получения ненарушенного керна, проведения электрокаротажа, акустического каротажа и др.).

Коры выветривания отличаются в целом пониженными значениями плотности, упругих свойств, удельного электрического сопротивления и повышенной пористостью. Они, как правило, немагнитны, за исключением некоторых слабыветрелых образований зоны дезинтеграции, а также охр, латеритов и кирасы из верхних горизонтов профиля выветривания. В соответствии с перечисленными особенностями физических свойств при картировании кор выветривания, в особенности погребенных (перекрытых отложениями платформенного чехла), целесообразно использование данных гравиразведки, в некоторых случаях — магниторазведки; при незначительной мощности перекрывающих отложений (первые десятки метров) информативны также данные электропрофилеирования.

Для коры выветривания характерно изменение физических свойств в вертикальном разрезе. При этом физические свойства пород нижней части профиля выветривания мало отличаются от физических свойств невыветрелых пород, а в верхней приближаются к свойствам перекрывающих осадочных пород покровного комплекса. Вследствие перечисленных особенностей физических свойств коры выветривания, на площадях, перекрытых отложениями платформенного чехла, для ее расчленения целесообразно использование данных бурения в сочетании с электрокаротажом, а при необходимости — акустическим каротажом.

Для выявления площадей распространения коры выветривания важное значение, особенно при площадном типе, имеет характер погребенного рельефа. Изучение рельефа складчатого комплекса — один из важнейших элементов картирования кор выветривания, так как различные продукты кор выветривания размещаются в соответствии с формой и гипсометрией рельефа.

При картировании гипергенных образований в районах развития открытых кор выветривания маршруты должны намечаться с учетом геолого-структурных и геоморфологических особенностей территории, степени обнаженности коренных

пород и связанных с ними кор выветривания. Их необходимо проводить так, чтобы охватить наблюдениями все участки, где могут быть выходы элювиальных пород, т. е. эрозионные формы рельефа (речные и озерные берега, склоны ложбин, промоины и др.), междолинные участки и их склоны. Особое внимание следует обратить на возвышенные плоские, слабохолмистые участки рельефа. На таких участках, перекрытых, как правило, четвертичными отложениями, сведения о составе коры выветривания можно получить по выбросам из нор, обычно вырытых в местах развития глинистых образований. Должны быть осмотрены подножия выступов рельефа, на поверхности которых почти всегда встречаются выходы элювиальных пород.

При картографировании кор выветривания важное значение имеют различные косвенные признаки их идентификации. К таким признакам относятся в частности состав и цвет четвертичных отложений и обломки пород элювиального происхождения. Светлые четвертичные образования могут быть связаны с каолинитовым элювием, зеленые оскольчатые и легко набухающие в воде — с монтмориллонитовым, возможно, и с гидроклоритовым элювием; последний иногда набухает в воде как монтмориллонит. Темно-зеленые, коричневатозеленые оскольчатые четвертичные глины могут образовываться из монтмориллонито-нонtronитового элювия, а ожелезненные породы желтых и красных цветов — из пестроцветных и красноцветных продуктов выветривания. Охристый элювий отражается даже в 2-метровом четвертичном покрове, который приобретает бурую и красно-бурую окраску.

Для выявления кор выветривания значительную помощь могут оказать обломки пород в четвертичных отложениях. Для кор выветривания ультраосновных пород характерны куски магнезита, связанного с горизонтом дезинтегрированного элювия, куски окремненных (на поверхности нередко кавернозных) или опализованных зеленоватых серпентинитов и опалитов с ровным или раковистым изломом, типичных для выщелоченного элювия, куски бурого железняка или элювиального кварцита (с охрой в пустотах), связанных преимущественно с горизонтом охр. Валуны сильно кавернозных элювиальных кварцитов скапливаются в делювиальном покрове. Массовое распространение в четвертичном покрове пизолитовых бурожелезняковых образований может свидетельствовать

о развитии кор выветривания основных и ультраосновных пород. Подобные пизолиты, например, в изобилии встречаются на Бурьктальском месторождении силикатного никеля. Куски нацело пелитизированных пестроцветных пород могут указывать на развитие кор выветривания основных изверженных пород, куски кварцсодержащих, нацело пелитизированных светлых пород — на распространение кор выветривания кислых изверженных и метаморфических пород.

Одной из важных задач является изучение морфологии кор выветривания. Коры выветривания, представленные площадным типом, обычно распространены на больших площадях. Коры линейного типа, наоборот, занимают ограниченные участки, тем не менее, на изучение этого морфологического типа необходимо обратить большое внимание, так как с ними могут быть связаны месторождения тех или иных элювиальных полезных ископаемых. Для выявления линейных кор выветривания требуется прежде всего учет зон тектонических нарушений и литологических контактов, установленных геологическими и геофизическими методами. Эти зоны при сочетании с другими благоприятными геологическими и геоморфологическими особенностями могут явиться объектами для трещинно-линейных и контактово-линейных кор выветривания и связанных с ними месторождений полезных ископаемых.

При изучении зон тектонических нарушений и литологических контактов нужно внимательно обследовать все отрицательные формы рельефа, выделяющиеся в виде озерных или заболоченных понижений, которые могут располагаться над линейными корами выветривания. Выявление этого типа кор только визуальными методами затруднительно из-за ограниченности и замаскированности их распространения; они могут быть выявлены, как правило, с помощью геофизических, горных и при необходимости — буровых работ.

Признаком, который может свидетельствовать о возможности распространения трещинно-линейной коры выветривания, является присутствие даек различных изверженных пород (гранитов, пегматитов, амфиболитов и др.). Основанием для выявления линейных и карстовых кор выветривания может быть наличие на местности карстовых образований.

Одной из характерных особенностей кор выветривания является зональность распространения продуктов выветривания на поверхности. Например, на реликтах пенепленизированной

ных поверхностей к ровным, пологохолмистым вершинным участкам рельефа приурочены продукты конечных стадий выветривания; к склоновым частям рельефа — продукты промежуточной стадии выветривания, а к нижним частям склонов и пониженным участкам — продукты начальных стадий выветривания. Погребенные под покровными отложениями коры выветривания, связанные с палеорельефом складчатого комплекса, также имеют закономерное площадное распространение. На погребенной поверхности складчатого комплекса коры выветривания обычно занимают склоны положительных структур и межструктурные понижения, а в сводовой части структурных выступов они, как правило, отсутствуют. В связи с этим для составления карты погребенных кор выветривания обязательно детальное изучение палеорельефа по материалам геофизических работ и бурения и изображение его в изогипсах. Наличие связи кор выветривания разных исходных пород с территориями определенных типов рельефа может способствовать выявлению рудоносных кор выветривания.

К основным задачам геоморфологических исследований при изучении кор выветривания относятся следующие.

1. Изучение типов и форм рельефа, к которым могут быть приурочены коры выветривания, в особенности территории с реликтами пенепленизированных поверхностей, в пределах которых лучше сохранились коры выветривания.

2. Установление связи геоморфологических элементов со слагающими их коренными и элювиальными породами.

3. Определение степени эродированности рельефа и развитых кор выветривания.

4. Выяснение связи этапов формирования рельефа и корообразования.

Геоморфологическими объектами изучения при ГМК являются морфоструктуры — в основном объекты мезорельефа. Для каждого геоморфологического объекта характерны свои особенности распространения кор выветривания.

При исследованиях каждого геоморфологического объекта, особенно элементарных форм (положительных и отрицательных), дается морфологическая и морфометрическая характеристика их; выясняется, какими процессами — эндогенными или экзогенными — обусловлено появление в данном месте именно такой, а не иной формы, когда она возникла, в каком генетическом соотношении находится она с другими формами,

в какой стадии образования или преобразования современными процессами находится. Чтобы получить ответы на эти вопросы, необходимо обратиться к изучению вещественного состава горных пород, которыми сложена наблюдаемая форма или в которые она врезана, установить ее отношение к геологическим структурам, наконец, выяснить взаимосвязь данной формы (или группы форм) с другими элементами физико-географической среды (Музылев, 1954).

Особое значение приобретает выявление реликтов пенепленизированных поверхностей, формирование которых сопровождалось корообразованием. Это обычно возвышенные холмисто-равнинные участки. Выделяются они прежде всего сглаженной поверхностью, имеющей более или менее выдержанные гипсометрические уровни. Эти поверхности плавно повышаются в сторону горного рельефа, понижаются в направлении низинных равнин. Наличие полнее сохранившихся кор выветривания — важнейший признак сохранности пенепленизированных поверхностей. При наличии ярусности рельефа, вызванной чередованием на разных гипсометрических уровнях зон интенсивно расчлененного рельефа и зон сглаженного рельефа, определяются уровни поверхностей выравнивания, на которых лучше сохранились коры выветривания. Важное значение имеет установление верхних и нижних уровней распространения кор в рельефе: для каждой территории характерны близкие гипсометрические уровни распространения кор выветривания.

При проведении геоморфологических исследований высокой степенью информативности обладают МДЗ. В частности, они используются для выделения площадей с различными типами рельефа, изучения характерных черт рельефа и пространственной связи гипергенных образований с определенными линеаментами. Древние пенеплены на МДЗ имеют вид слабо наклоненных площадок на большой территории или эрозионных останцов на водоразделах. Хорошо видны карстовые воронки: темные овальные и округлые пятная. Древние речные долины определяют по следам русел и по линейному расположению обводненных и заболоченных участков (Гальперов и др., 1979).

Результаты изучения гипергенных образований отображаются на специализированной карте кор выветривания. Геологической основой такой карты является состав субстрата

и рельеф кровли исходных образований, на которые наносят границы распространения (зональность) и мощности элювиальных горизонтов, а также месторождения и рудопроявления полезных ископаемых. На эту карту могут быть нанесены и другие признаки: тип элювиального профиля, возраст коры выветривания, геохимические и геофизические аномалии, россыпи. Наиболее важную для решения задач прогнозирования информацию после анализа карты кор выветривания переносят на КЗПИ.

В качестве примера на рис. 5.4.1 приведена карта кор выветривания правобережья р. Подкаменная Тунгуска. Работа была проведена в масштабе 1 : 500 000, отдельные врезки были сделаны в масштабе 1 : 200 000 (Певзнер, 1974).

Элювиальные породы, возникающие за счет различных изверженных, осадочных и метаморфических пород, представляет собой полиминеральные образования. В их составе преобладают тонкодисперсные минералы, для которых характерен широкий диапазон изоморфизма с заменой отдельных катионов и образованием закономерных сростаний слоев (смешанно-слоистые минералы). Их точная диагностика требует проведения комплекса лабораторных исследований. Основная задача лабораторных исследований — получение надежной минеральной, геохимической и физической характеристики для расчленения и корреляции разрезов кор выветривания, а также оценки элювиальных образований как полезных ископаемых. Для решения этих задач применяются следующие методы: петрографический, гранулометрический и минералогический (в том числе термический, рентгеноструктурный, электронная микроскопия, электронография), спектральный и химический (силикатный) анализ, и изучение физических свойств пород (табл. 5.4.1).

Определение тонкодисперсных глинистых материалов проводится с помощью термического, рентгеноструктурного анализов и электронной микроскопии. Гранулометрический и минералогический анализы фракций применяются при изучении перспектив на некоторые виды сырья (алмазы, золото, платиноиды, каолины, маршаллиты и др.). Полный химический анализ (силикатный) анализ необходим для изучения типоморфных разрезов кор выветривания. Спектральному анализу должны быть подвергнуты все образцы пород. Очень точный и чувствительный метод — рентгеновский анализ. Ю. С. Дьяконов

еще в 1962 г. доказал, что этим методом в порошке каолиниты и монтмориллониты определимы с 1%, и гидрослюды с 5%. С помощью этого же метода устанавливается присутствие смешаннослойных минералов.

Результаты спектральных и химических анализов можно также использовать для сравнительной оценки поведения химических элементов в корах выветривания. Для этого изменения средних концентраций (отношение средней концентрации элемента в данной элювиальной породе к его среднему содержанию в исходной) вычисляют по каждому разрезу для пород всех элювиальных горизонтов. Анализ полученных значений свидетельствует о тенденции элементов к рассеянию или накоплению в коре выветривания (Методические указания по геологической съемке масштаба 1 : 50 000. Вып. 5. Геологическая съемка районов развития кор выветривания.— Л.: Недра, 1973).

Глава 6. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ ГМК

6.1. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях фанерозойской складчатости

Основой технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях фанерозойской складчатости является исследование пространственных связей рудных формаций со следующими типами рудоконтролирующих образований и их ассоциациями:

При ГМК-500

— параметрами разреза земной коры в пределах различных частей изучаемой площади (мощностью консолидированной коры, глубиной залегания поверхности Конрада и Мохоровичича, соотношениями мощности гранулито-базитового и гранито-гнейсового слоя и др.);

— структурно-формационными зонами;

— зонами сочленения структурно-формационных зон (в особенности, представленных вулканогенно-осадочными прогибами и соседними поднятиями);

— элементами внутреннего строения структурно-формационных зон — палеоподнятиями (площадями с сокращенным разрезом стратифицированных образований и максимальным развитием гранитоидов), участками максимального прогибания и максимального проявления проявления вулканизма и осадконакопления;

— крупными тектоническими блоками в пределах структурно-формационных зон, с неполностью совпадающей историей геологического развития;

- региональными разрывными структурами, разделяющими или пересекающими структурно-формационные зоны, в том числе известными или вероятными сквозными рудоконцентрирующими структурами;
- различными структурными этажами в пределах структурно-формационных зон;
- геологическими формациями (осадочными, интрузивными, вулканогенными, метаморфическими, региональными, гидротермально-метасоматическими) и их ассоциациями;
- поверхностями региональных несогласий;
- фациями регионального метаморфизма;
- надинтрузивными зонами крупных гранитоидных массивов;
- надкупольными зонами крупных гранито-гнейсовых куполов;
- вулкано-тектоническими структурами;
- крупными кольцевыми структурами, установленными по МДЗ и(или) по геофизическим данным;
- региональными геофизическими аномалиями различной природы;
- элементами зональности регионального геохимического поля, а также рудно-геохимической зональности;
- полями распространения прямых и косвенных поисковых признаков.

При ГМК-200

- геологическими телами различной формационной принадлежности и состава (осадочными, интрузивными, вулканогенными, метаморфическими, локальными гидротермалитами) и их ассоциациями;
- разрывными и складчато-разрывными структурами;
- поднятыми и опущенными тектоническими блоками;
- полями распространения малых интрузивных или субвулканических тел;
- надинтрузивными зонами и элементами рельефа кровли гранитоидных массивов;
- надкупольными зонами гранито-гнейсовых куполов;
- элементами внутренней структуры расслоенных плутонов;
- локальными структурными элементами вулкано-тектонических структур;

- локальными кольцевыми структурами, установленными по МДЗ и (или) по геофизическим данным;
- локальными геофизическими аномалиями различной природы;
- локальными геофизическими аномалиями рудной природы;
- проявлениями локальных гидротермалитов;
- геохимическими, шлиховыми, шлихо-геохимическими аномалиями или полями их распространения;
- локальными элементами геохимической, рудной и гидротермально-метасоматической зональности;

В каждом конкретном случае в зависимости от типа объекта прогнозирования в процесс изучения закономерностей размещения полезных ископаемых вовлекается та или иная часть из приведенных потенциально рудоконтролирующих образований.

Вместе с тем, некоторые из приведенных типов рудоконтролирующих образований складчатых областей обладают широкой областью применимости в качестве признаков рудоносности и высокой информативностью (параметры разреза земной коры, типы структурно-формационных зон, зоны их сочленений, палеоподнятия, региональные геофизические аномалии и др.) (табл. 6.1.1, а также рис. 3.9, *А, Б*). Общеизвестной является практически универсальная рудоконтролирующая роль геологических формаций (табл. 2.1.1). Также для преобладающей части рудных формаций складчатых областей велико рудоконтролирующее значение разрывных структур разных порядков, а также кольцевых структур, выделяемых по МДЗ и (или) геофизическим материалам, в основном по данным гравиразведки и магниторазведки. Значительная часть кольцевых структур является индикаторами очаговых рудно-магматических систем разных порядков. Особое рудоконтролирующее значение имеют секущие по отношению к структурно-формационным зонам рудоконцентрирующие сквозные (по М. А. Фаворской и др., 1977) зоны разрывных нарушений шириной десятки и длиной сотни километров.

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых базируется на результатах картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков (гл. 5.1), отраженных на ПМК, и предваряется уточнением формационной принадлежности потенциально рудоконтролирующих

породных комплексов, при необходимости — оценкой обоснованности отнесения тех или иных геологических тел к выделенным комплексам, более дробной классификацией геологических тел, потенциально рудоконтролирующих структурных элементов структурно-формационных зон, разрывных нарушений, а также увязкой всего многообразия минерагенических факторов и поисковых признаков в единую систему, поддающуюся осмыслению. Эти подготовительные операции производятся с учетом всей совокупности геологических, геофизических, геохимических материалов и МДЗ, результатов лабораторных исследований вещественного состава рудоконтролирующих образований и их физических свойств и предназначены для обеспечения возможности осмысленного и максимально полного и детального исследования закономерностей размещения полезных ископаемых.

Суть процесса изучения закономерностей размещения полезных ископаемых заключается в анализе пространственных связей каждого из минерагенических факторов в отдельности и их парагенезисов (закономерно повторяющихся их сочетаний в разных частях изучаемой площади) с эталонными объектами полезных ископаемых (а в случае их отсутствия — с поисковыми признаками, в первую очередь с прямыми, и полями пространственно сближенных прямых и косвенных поисковых признаков), проверке статистической значимости (неслучайности) выявленных закономерностей и формировании многопараметрических критериев прогнозирования.

Закономерности размещения полезных ископаемых изучаются применительно к каждому из их типов, являющихся в соответствии с геологическим заданием объектами прогнозирования при ГМК. За исключением случаев, когда прогнозируемые типы полезных ископаемых принадлежат к одной рудной формации или к единому генетически и пространственно связанному рудному комплексу и контролируются частично совпадающим набором минерагенических факторов, результаты изучения закономерностей размещения каждого из прогнозируемых типов полезных ископаемых целесообразно отражать на отдельной ПМК. Последняя составляется в электронном виде.

Информационное обеспечение процесса изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей включает электронную базу данных, иерархически построенную прогнозно-поисковую модель

(модели), серийную легенду (в том случае, если она содержит минерагенический блок), а также экспертные компьютерно-аналитические системы (при их наличии) (главы 1 и 3).

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых производится в течение всего процесса ГМК, начиная с этапа подготовительных камеральных работ. По мере получения новых результатов изучения минерагенических факторов и поисковых признаков уточняются и детализируются закономерности размещения полезных ископаемых, обновляется рабочий вариант (варианты) ПМК, уточняется прогнозно-поисковая модель и дополняется электронная база данных.

Изучение закономерностей размещения полезных ископаемых производится с применением ГИС-технологий, а также специализированных программных продуктов.

При изучении пространственных связей между рудными формациями и потенциально рудоконтролирующими образованиями с помощью ГИС-технологий, основным элементом процесса исследования является визуальный анализ связей методом совмещения слоев, содержащих КПИ, рабочий вариант ПМК и геологическую карту, а также различные вспомогательные карты геологического, геохимического, геофизического (включая карту глубинного строения) содержания, МДЗ и др. Набор вспомогательных карт и их содержание зависит от типа объекта (объектов) прогнозирования.

При всех достоинствах рассматриваемого метода он недостаточен для полноценного исследования больших объемов разноплановой геологической, геофизической, геохимической, дистанционной и другой информации, вследствие ограниченных возможностей визуального анализа. Поэтому процесс изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей с помощью ГИС-технологий целесообразно дополнять прогнозно-минерагеническими исследованиями с привлечением количественных методов прогнозирования на основе использования специализированного программного обеспечения, позволяющих при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых и выявлении объектов прогнозирования извлекать из исходных геологических, геофизических, геохимических, дистанционных и других материалов максимум полезной информации и оценивать достоверность выявленных закономерностей. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых

с применением численных методов подробно рассмотрены в разд. 4.1, а технологии выделения перспективных площадей в разд. 4.1, 4.2 и 4.3.

Наиболее специфичными и важными операциями при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых в складчатых областях являются следующие:

1. Классификация разрывных структур, предшествующая анализу закономерностей размещения полезных ископаемых.

2. Объемное комплексное геолого-геофизическое и геохимическое моделирование объекта изучения (рудного района или узла) с целью объемного изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, для вовлечения в процесс прогнозирования рудоконтролирующих геологических тел, не выходящих на поверхность, а также для прогнозирования слепых месторождений. В основном применяется при ГМК-200, при прогнозной оценке рудных районов и узлов, для которых характерна рудно-геохимическая и (или) гидротермально-метасоматическая зональность, согласная с элементами магматической расслоенности плутонов, со стратификацией вулканогенного, вулканогенно-осадочного, осадочного, метаморфического комплекса, или субсогласная с поверхностью кровли гранитоидных плутонов, гранито-гнейсовых куполов [149, 174].

3. Изучение рудно-геохимической и гидротермально-метасоматической зональности и ее применение при прогнозировании слепых месторождений [60, 138, 139, 149, 152, 173 и другие работы].

Последние две операции рассматривались в разд. 1.1, 4.3, 5.1, поэтому ниже приведена только первая — классификация разрывных структур.

Критерии классификации региональных разрывных структур основаны на комплексном анализе геологических, геофизических, геохимических данных и МДЗ, при весьма значительной роли геофизических. Последнее обусловлено тем, что важнейшей характеристикой рудоконтролирующей роли разрывных нарушений является глубина их проникновения, которая наиболее надежно устанавливается по геофизическим данным.

Использование данных гравиразведки, магниторазведки совместно с данными сейсмических, электротермических, термических, геохимических методов, а также результатов

дешифрирования МДЗ дает возможность получить представления о природе разлома, определить глубину его проникновения, протрассировать отдельные нарушения [32, 68, 98, 99, 149, 152, 201].

Как правило, разломы, ограничивающие структурно-формационные зоны или крупные блоки в их пределах, выделяются по результатам дешифрирования МДЗ и интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки, сейсморазведки, а сами структурно-формационные зоны и крупные тектонические блоки в их пределах выступают как участки с характерной для них интенсивностью и степенью неоднородности гравитационного и магнитного полей. Интенсивность гравитационного поля в различных структурно-формационных зонах, а также в различных блоках в пределах одной структурно-формационной зоны может различаться на десятки миллигал, а интенсивность магнитного поля — более чем на сотни нТл, что обеспечивает ведущую роль гравиразведки и магниторазведки в процессе тектонического районирования. В структурно-формационных зонах линейного типа блоки чаще всего разделяются кососекущими или ортогональными по отношению к зоне разлома. В типичных для орогенных и активизационных областей сводовых поднятиях с концентрическим расположением дугообразных и кольцевых металлогенических зон (И. Н. Томсон и др. 1985) блоки образуются за счет пересечения последних системой радиальных разломов. Эти разломы нередко ограничивают по простиранию и сами минерагенические зоны.

Характерным признаком разломов, разделяющих структурно-формационные зоны, а также блоки в пределах структурно-формационных зон с различной интенсивностью или различным характером рудоносности, является наличие гравитационных ступеней.

Наиболее очевидным признаком, используемым при классификации разрывных структур, является их положение по отношению к структурно-формационным зонам и крупным тектоническим блокам в их пределах — выделяются глубинные разломы, ограничивающие структурно-формационные зоны, секущие по отношению к ним, в том числе разделяющие структурно-формационные зоны на блоки, различающиеся по тем или иным особенностям геологического строения и соответственно различным характером или интенсивностью рудоносности, продольные или кососекущие разломы,

развитые внутри структурно-формационной зоны и нередко контролирующие оруденение различных типов. Особое рудоконтролирующее значение имеют секущие по отношению к структурно-формационным зонам рудоконцентрирующие сквозные (по М. А. Фаворской и др., 1977) зоны разрывных нарушений шириной десятки и длиной сотни километров. Такие разрывные структуры пересекают несколько структурно-металлогенических зон, контролируя рудные районы с различным оруденением и часто различного возраста. Характер оруденения определяется специализацией пересекаемых металлогенических зон. В отличие от глубинных разломов, разделяющих структурно-формационную зону на блоки, сквозные рудоконцентрирующие зоны разрывных нарушений обычно не сопровождаются ярко выраженными гравитационными ступенями. Характерными их признаками являются секущий характер по отношению к структурно-формационной зоне, изгибы крупных осей складок, антиклинориев и синклинориев, многофазный характер и контрастность состава магматических образований, повышенный тепловой поток, зоны локальных аномалий гравитационного и магнитного поля, наличие продольных зон разуплотнения земной коры или отдельных ее слоев, сопровождающихся линейными отрицательными гравитационными аномалиями (Н. В. Виноградов, Н. Н. Биндеман, 1986; Г. П. Воеводова, А. В. Савицкий, 1986). На космических снимках они выглядят как скопления (зоны) разломов, располагающихся субпараллельно или ветвящихся под острыми углами. Количество разломов в зоне колеблется от единиц до нескольких десятков, а протяженность отдельных разломов — от десятков до 100 км и более. Скопления разломов распадаются на отдельные субпараллельные полосы шириной до 10–15 км, в пределах которых наблюдаются участки еще большего сгущения разрывов шириной 0,5–1 км (Н. В. Виноградов, Н. Н. Биндеман, 1986; В. Е. Гендлер и др., 1986).

Наряду с секущими разрывными нарушениями в минералогических зонах линейного типа рудоконтролирующую роль нередко играют продольные разрывные структуры длиной до первых сотен километров и шириной от первых единиц до 10–15 км, как пограничные по отношению к зоне, так и проходящие внутри нее. Иногда такие разломы, пересекая несколько рудных районов, контролируют в их пределах наиболее крупные рудные поля (обычно на участках пересечения

с более мелкими разрывными нарушениями). Такова, например, Воскресеновская зона КМА, контролирующая наиболее значительные золоторудные проявления в Тим-Ястребовской структуре.

В ряде случаев важное металлогеническое значение имеют также пологие надвиги и шарьяжи. Их рудоконтролирующая роль особенно характерна для телетермального, в частности, ртутно-сурьмяного оруденения. Такие разломы в одних случаях экранируют оруденение, в других — способствуют его захоронению, нередко они являются рудоподводящими и рудовмещающими. Они характеризуются низкими градиентами гравитационного поля или отсутствием таковых, несмотря на то, что в типичном случае они разделяют площади с резко различным геологическим строением и иногда с существенными различиями интенсивности или степени неоднородности магнитного поля.

Классификация разрывных структур, предшествующая анализу закономерностей размещения полезных ископаемых, производится по комплексу признаков, который может включать масштаб разрывных структур, характер проявления в различных физических полях, в МДЗ, связь с гидросетью, рельефом, наличие и мощность линейных кор выветривания. В некоторых случаях классификационным признаком разломов может являться амплитуда перемещения, устанавливаемая путем объемного физико-геологического моделирования, пересекаемых ими геологических структур (Г. Б. Романовский и др., 1986).

По характеру создаваемых физических полей разломы различаются между собой наличием или отсутствием гравитационных ступеней, линейных зон пониженного или повышенного гравитационного и магнитного поля, цепочек положительных и отрицательных локальных аномалий, линейных зон проводимости по данным электроразведки, зон пониженных или повышенных (за счет уступов) скоростей по данным сейсморазведки КМПВ, а также по другим характеристикам в зависимости от комплекса геофизических методов, особенностей геологического строения.

При определении глубины проникновения разлома наряду с геофизическими признаками используются состав развитых в пределах зоны разлома магматических образований. Так, для разломов, достигающих поверхности М, характерны ультра-

мафиты и мафиты, для разломов, проявленных в базальтовом слое земной коры, более типичны тела гибридизированных разностей диоритов или габброидов, для разломов, затухающих в пределах гранито-метаморфического слоя, магматические образования представлены в основном гранитоидами.

Нередко возникает необходимость оценки потенциальной рудоконтролирующей роли конкретной разрывной структуры (обычно достаточно протяженной), для которой на изучаемой площади отсутствуют аналоги или имеются лишь единичные. Косвенными признаками рудоконтролирующей роли таких структур могут быть пространственно связанные с ними геохимические поля с повышенными (не обязательно аномальными) содержаниями элементов-индикаторов, а также наличие и характер гидротермально-метасоматических изменений. Изучение таких структур целесообразно проводить путем сопоставления полей повышенных содержаний элементов-индикаторов и полей развития гидротермалитов с геофизическими и геологическими признаками, по которым трассируется разрывное нарушение. Признаками вероятной рудоконтролирующей роли разрывных структур являются также газо-ртутные и водно-гелиевые ореолы, свидетельствующие о проницаемости и тектонической активности разломов.

Региональные многопараметрические критерии прогнозирования, применяемые при выделении потенциальных рудных районов, зон, узлов, формируются как парагенезисы региональных минерагенических факторов и полей распространения поисковых признаков. Локальные многопараметрические критерии прогнозирования подразделяются на критерии прогнозирования рудных полей, выходящих на поверхность эрозионного среза рудовмещающего комплекса и слепых, залегающих ниже этой поверхности. Первые формируются как парагенезисы локальных минерагенических факторов и полей распространения прямых и косвенных поисковых признаков, вторые как парагенезисы локальных минерагенических факторов и полей распространения косвенных поисковых признаков, характерных для надрудной зоны рудных полей и месторождений — гидротермалитов надрудной фации, геохимических аномалий, пунктов минерализации и проявлений рудных элементов-спутников основного оруденения, типичных для надрудной зоны гидротермально-рудной системы,

геофизических аномалий, интерпретируемых как надрудные и др. Признаки надрудной зоны устанавливаются по результатам исследований на эталонных участках и с помощью прогнозно-поисковой модели.

При выделении перспективных площадей степень сходства оцениваемой площади или участка с реальными рудными объектами прогнозируемого типа определяется по полноте проявления в его пределах признаков, входящих в состав многопараметрического критерия.

Выделение потенциальных рудных полей (месторождений), не выходящих на поверхность рудовмещающего комплекса (слепых, погребено-слепых) при ГМК-200 осуществляется с помощью прогнозно-поисковой модели и также может проводиться как неформальными методами, так и с помощью компьютерных программ, реализующих алгоритмы распознавания образов (с использованием в качестве обучающего эталона прогнозно-поисковой модели). В обоих этих случаях суть процесса прогнозирования сводится к анализу подобия оцениваемого участка различным зонам прогнозно-поисковой модели, в том числе надрудным (разд. 4.1, 4.2 и 4.3).

6.2. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях докембрийской складчатости

Основной технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях докембрийской складчатости является исследование пространственных связей рудных формаций с теми же типами рудоконтролирующих образований и их ассоциациями, что и в областях фанерозойской складчатости, но при существенно более значительной рудоконтролирующей роли метаморфических формаций, метаморфических фаций, гранито-гнейсовых куполов.

Ниже, по результатам исследований на Анабарском щите и на Ладожско-Онежской площади, расположенной на юго-восточной окраине Балтийского щита на примере важнейших для областей докембрийской складчатости рудных формаций рассматриваются особенности изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей [182, 183, 184, 185, 192, 193, 212].

Во всех рассматриваемых примерах для прогнозируемого оруденения по результатам изучения закономерностей размещения полезных ископаемых составлялись специализированные схемы размещения факторов, влияющих на его локализацию и сохранность. Потенциально перспективные площади выделялись затем путём пространственного совмещения информативных геологических, геофизических и дистанционных признаков.

Анабарский щит

Геологическая и минерагеническая характеристики приведены в разделе 5.2.

Результаты дешифрирования космических снимков, интерпретации геофизических и геологических материалов позволяют построить сводную геолого-структурную схему территории, на которой присутствуют основные зоны разломов, границы ландшафтных областей; главные структурные линии, проявляющие различные осложнения фундамента и чехла; блоковые и очаговые структуры разных порядков.

Принципиальная схема комплексной оценки рудоносного потенциала территорий приведена на рис. 6.2.1, а на рис. 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4 — сводная геолого-структурная схема территории (структурно-геофизическая и космоструктурная схемы и геолого-структурная карта).

Месторождения медно-никелевых сульфидных руд докембрия всегда пространственно и генетически связаны с магматическими формациями ультраосновных—основных пород. Важное значение имеют структурные и литологические факторы. К первым отнесены зоны региональных долгоживущих разломов глубинного заложения, разделяющим блоки земной коры с разным строением, участки пересечения наиболее крупных разломов между собой. Вторые заключаются в том, что для внедрения магм и формирования никеленосных интрузий благоприятными являются компетентные или слаболитофицированные отложения; горизонтальные межформационные «швы», представляющие разделы различных сред; плотные экранирующие толщи, создающие условия для полной дифференциации регенерирующих интрузий.

По результатам комплексной интерпретации геологических, геофизических (гравиразведка и магниторазведка) материалов

и МДЗ выделены структурные и магматические факторы, которые и учтены в прогнозной модели в виде наиболее крупных зон линеаментов, выделенных при дешифрировании космических снимков и интерпретации геофизических полей; узлов пересечения их между собой, массивов основных пород, которым соответствуют крупные положительные аномалии поля силы тяжести и магнитного поля.

Пространственное суммирование этих факторов в ячейках размером 10×10 км с последующим осреднением скользящим окном в 30×30 км позволяет по изолинии ($x + 0,5\sigma$), характеризующий минимальный порог аномальной суммы благоприятных факторов, выделить площади, которые можно рассматривать в качестве благоприятных для формирования рудных районов и узлов. Пример такого анализа для Анабарского щита приведён на рис. 6.2.5.

Следует отметить, что характер геологического разреза, приведенного на карте масштаба 1:1 000 000, свидетельствует о неблагоприятной в целом стратиграфической обстановке для формирования здесь рудоносных расслоенных интрузий. Практически на всей площади щита отмечается вертикальное залегание слагающих его метаморфических образований, то есть отсутствуют экраны, способствующие становлению расслоенных интрузий, что снижает перспективы площади.

Ведущие рудные формации месторождения *золота* в докембрийских складчатых областях представлены формацией докембрийских золотоносных конгломератов и золото-кварцевой. Уникальность первой обусловлена тем, что ее положение обычно определяется контурами развития протоплатформенных протерозойских комплексов, залегающих на гранито-гнейсовом основании. Образование руд связано со специфическими тектоническими, климатическими и палеогеографическими условиями, которые присущи только докембрию и существовали в пределах относительно узкого интервала времени. При геологическом картировании такого рода формаций в пределах Анабарского щита не обнаружено.

Месторождения золото-кварцевой формации на древних щитах представлены чаще всего золото-кварцевыми, золото-сульфидно-кварцевыми и золото-сульфидными типами, рудные тела которых представлены сочетаниями жил, прожилков и вкрапленностью сульфидов с чёткой приуроченностью к литостратиграфическим и «согласным» структурным элементам.

Сопровождаются зонами березитизации, листвинитизации и сульфидизации вмещающих пород. В качестве стандартных критериев при региональном прогнозировании рудных районов и узлов обычно используются площади зеленокаменных поясов; региональные разломы; узлы пересечения разломов; участки развития гранитоидного магматизма благоприятного петрохимического состава, мощных толщ толеитовых базальтов; слабый зеленосланцевый, реже альбит-эпидот-амфиболитовый метаморфизм вмещающих толщ (рис. 6.2.6, 6.2.7).

По результатам комплексной интерпретации геологических, дистанционных и геофизических материалов в прогнозную модель были включены в качестве ведущих рудоконтролирующих факторов зоны крупнейших разломов и узлы их пересечения; участки проявления гранитоидного магматизма.

Месторождения урановых руд в структурах тафросинеклиз и миогеосинклинальных прогибов древних платформ в связи с региональными несогласиями связаны с мобилизацией и перераспределением рассеянного в породах урана поверхностными водами и слабонагретыми растворами в благоприятных структурных обстановках. Как правило, границы несогласия достаточно уверенно картируются на космических изображениях.

Опыт изучения условий локализации месторождений несогласия в Канаде и Австралии показал, что рудные районы размещаются, как правило, в участках повышенной тектонической нарушенности геологического субстрата, проявляющегося узлами пересечения зон линеаментов, усложнениями ландшафтов, присутствием кольцевых структур диаметром в десятки км, которые фиксируют гранитные купола.

Использованная нами прогнозная модель для урановых руд в связи с региональными несогласиями включала: зону вдоль границы между породами фундамента и протерозойскими толщами, залегающими по всей периферии щита; участки в пределах этой зоны узлов пересечения крупных разломов разных направлений; наличие специализированных на уран комплексов пород в фундаменте (рис. 6.2.8).

Следует отметить, что большинство крупных месторождений мира приурочено к несогласиям между архейскими и нижнепротерозойскими толщами (Атабаска в Канаде, Аллигейтор-Ривер в Австралии). На Анабарском щите мы имеем дело с верхнепротерозойскими толщами, залегающими на породах

кристаллического основания, что снижает вероятность образования богатых руд.

Месторождения гидротермальных урановых руд в зонах протоктивизации фундамента древних платформ контролируются выступами фундамента, претерпевшими гранитизацию и многократный метаморфизм. В их пределах благоприятны участки повышенной мощности земной коры, которые могут проявляться сложно построенными кольцевыми структурами диаметром в сотни километров [182]. Для формирования месторождений необходимо присутствие обогащённых ураном пород — продукта процессов ультраметаморфического гранитообразования и последующей механической дифференциации пород. Важным критерием прогнозирования является и нарушение первично конституционного распределения урана вдоль глубинных разломов.

Для выделения перспективных участков прогнозная модель включала: крупнейшие разрывные нарушения, контролирующие магматизм, метаморфизм и рудогенез; участки диафтореза и гранитизации земной коры, фиксирующиеся по минимумам гравитационного поля. Также были учтены повышенные содержания урана в породах по данным аэрогаммаспектрометрии (Высокоостровская и др., 1999).

Ультраметаморфизм и гранитообразование могли завершаться формированием месторождений в пегматитах и кварцполевошпатовых метасоматитах, за которыми во времени следуют месторождения в карбонатно-натриевых метасоматитах и альбититах. Ведущую роль в рудообразовании могли играть воды, высвобождающиеся при метаморфизме осадочных пород. Следует отметить, что отсутствие следов проявления кислого магматизма в фанерозое в пределах Анабарского щита свидетельствует о незначительности процессов преобразования земной коры и, следовательно, небольших масштабах высвобождения и переноса урана, что снижает перспективы площади.

Месторождения алмазонасных кимберлитов в верхних горизонтах земной коры щита характеризуются следующими рудоконтролирующими элементами геологического строения, отображенными в прогнозной модели:

а) зонами, обусловленными формированием и активизацией гигантских (до 10 000 км в диаметре) радиально-концентрических систем, контролирующих границы крупнейших лито-

сферных блоков в пределах коры, формировавшихся в разное время и в отличных друг от друга режимах; крупнейшими зонами линейных дислокаций коры (разновозрастных протерозойских складчатых поясов, рифейских и палеозойских рифтогенных структур в фундаменте, мезо-кайнозойских валов и цепочек локальных поднятий в осадочном чехле платформ, складчатых поясов в обрамлении платформ);

б) зонами, обусловленными формированием овоидно-радиальных структур диаметром до тысячи километров, элементы которых являются мобильными участками нарушений земной коры второго порядка и также служат каналами повышенной проницаемости;

в) радиально-кольцевыми структурами диаметром 150–220 км, образовавшимися вследствие воздействия на земную кору мантийных диапиров, в пределах которых и над которыми протекали эволюционные процессы, приводившие к образованию, росту и выносу к поверхности алмазов.

Пространственное распределение этих факторов приведено на специализированной для алмазов геолого-структурной схеме Анабарского щита и его окрестностей, а размещение площадей, благоприятных для локализации кимберлитоносных районов демонстрируется на рисунке.

Однако и здесь следует подчеркнуть, что до 80 % площади Анабарского щита находится в пределах широкой нижнепротерозойской складчатой зоны, что (в соответствии с правилом Клиффорда), неблагоприятно для формирования алмазонасных кимберлитов. Кроме того, большой эрозийный срез скорее всего исключает обнаружение здесь классических кимберлитовых трубок, и поля могут быть представлены дайками небольших размеров. Соответственно с этим должна корректироваться и методика проведения наземных поисковых работ (рис. 6.2.8, 6.2.9).

Ладожско-Онежская площадь расположена на юго-восточной окраине Балтийского щита. Значительную ее часть занимает Карельский геоблок, граничащий на северо-востоке с Беломорским, а на западе и юго-западе — со Свекофенским. Его фундамент сложен нижнеархейским (саамским), верхнеархейским (лопийским) и нижнепротерозойским (сумийско-сарийским) комплексами пород, состав и строение которых позволяют рассматривать его как гранит-зеленокаменную область.

Верхнеархейские (лопийские) зеленокаменные пояса в современном эрозионном срезе сохранились лишь в виде реликтовых структур длиной в 400 км при ширине в 40–60 км. Контакты их с обрамляющими блоками замаскированы гранитизацией и интенсивным калиевым метасоматозом. Внутреннее строение осложнено гранито-гнейсовыми куполами и интрузиями тоналит-трондземит-гранодиоритового состава. Металлогению определяют *медно-никелевое, железорудное, серно-колчеданное, полиметаллическое (Zn, Pb, Ag, Au) и молибден — порфировое (Cu, W, Au) оруденение.*

Раннепротерозойские зеленокаменные пояса представляют собой узкие асимметричные линейные структуры на зрелой континентальной коре гранит-зеленокаменного и гранулитогнейсового типов, разделяют и обрамляют блоки архейского кратона. Слагающие их вулканогенно-осадочные толщи интенсивно дислоцированы, смяты в линейные, иногда опрокинутые складки, метаморфизованы в условиях зеленокаменной и амфиболитовой фации. Границы тектонические, совпадают с зонами взбросов и надвигов, осложнены гранитоидными интрузиями и зонами мигматизации.

В обрамлении и в самих зеленокаменных поясах встречаются базит-ультрабазитовые интрузии перидотит-пироксенит-габбро-норитовой, габбро-норитовой, габбро-диабазовой и габбро-верлитовой формаций. Металлогению определяет ярко выраженное медно-никелевое и платинометалльное оруденение с сопутствующими хромитовым и титан-железо-ванадиевыми рудами. Также известны колчеданные месторождения, стратиформные проявления меди (частично с Co, Au), комплексное уран-платина-хром-ванадиевое оруденение, руды железа, марганца и фосфатов, незначительная золотоносность. Протоорогенные (перикратонные) структуры с возрастом 2300–1700 млн лет представлены тектоническими депрессиями типа грабен-синклиналей, приразломными моноклинальными впадинами, мультимурными прогибами типа Онежского. Выполнены базальтами щелочно-базальтового и пикритового состава и осадочными образованиями, метаморфизованными в зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фациях.

Фанерозойский осадочный чехол, скрывающий юг площади сформирован в течение вендского, раннепалеозойского и девон-триасового седиментационных циклов. Активизационные процессы этого времени проявлены формированием Кан-

далакшской зоны разломов северо-западной ориентировки, к которой приурочены дайки щелочных базальтов, фурчитов, мончикитов, explosивных брекчий; нефелинитов, альнеитов и других щелочных базальтоидов, многочисленные интрузивы ультраосновных—щелочных пород центрального типа с редкометалльно-фосфорно-железородной, титаномагнетитовой, флогопитовой и вермикулитовой минерализацией. С девон-триасовым периодом связано внедрение кимберлитов Терского и Зимнего берега.

Учитывая особенности геологического строения и историю развития вовлеченных в анализ площадей, в их пределах теоретически можно предположить возможность формирования крупных месторождений *медно-никелевых сульфидных руд докембрия, платиновых руд в связи с расслоенными интрузиями, золото-урановых руд в связи с конгломератами, комплексных уран-никелевых и уран-медных руд в связи с зонами несогласия, руд золото-кварцевой формации древних щитов*. Результаты по Ладожско-Онежской площади приведены на схемах (рис. 6.2.10).

Таким образом, комплексная оценка территории методами дистанционного зондирования при работах регионального ранга позволяет локализовать площади, которые по сумме структурных факторов наиболее перспективны для постановки более детальных дистанционных и наземных работ. Последние проводятся на наиболее перспективных и локальных площадях с использованием дистанционной и традиционной информации более высокого разрешения и детальности. Состав и последовательность работ остаются неизменными.

6.3. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях развития платформенного чехла

Основой технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей при прогнозировании месторождений полезных ископаемых в платформенном чехле является изучение связей рудных формаций со следующими типами геологических образований.

А. При прогнозировании согласных (стратиформных) месторождений полезных ископаемых.

При ГМК-500:

— с рифтами, авлакогенами;

- с перикратонными, краевыми, внутренними, внешними прогибами;
- с антеклизмами и синеклизмами;
- с глубинными разломами;
- с региональными несогласиями;
- с палеодолинами;
- со стратиграфическими горизонтами платформенного чехла, соответствующими рудоносным эпохам;
- с интервалами повышенных содержаний элементов-индикаторов в разрезе чехла;
- с потенциально рудоносными геологическими формациями;
- с региональными геохимическими, шлиховыми, шлихо-геохимическими ореолами;
- с геофизическими аномалиями рудной природы.

При ГМК-200:

- с глубинными разломами;
- с региональными несогласиями;
- с палеодолинами;
- с локальными горстами и грабенами, локальными складчатостями структурами, положительными и отрицательными;
- со стратиграфическими горизонтами, соответствующими рудоносным эпохам;
- с интервалами повышенных содержаний элементов-индикаторов в разрезе чехла;
- с потенциально рудоносными геологическими формациями;
- с потенциально рудоконтролирующими фациями;
- с локальными геохимическими, шлиховыми, шлихо-геохимическими ореолами.

Б. При прогнозировании секущих месторождений полезных ископаемых.

При ГМК-500:

- с областями с благоприятными для прогнозируемой рудной формации параметрами строения земной коры;
- с рифтами;
- с глубинными разломами;
- с «прозрачными» геохимическими зонами*;

* См. примечание на с. 192 (разд. 5.3).

- с потенциально рудоносными магматическими формациями;
- с региональными геохимическими, шлиховыми, шлихо-геохимическими ореолами.

При ГМК-200:

- с глубинными разломами;
- с «прозрачными» геохимическими зонами*;
- с потенциально рудоносными магматическими формациями;
- с локальными разрывными структурами;
- с локальными геохимическими, шлиховыми, шлихо-геохимическими ореолами;
- с геофизическими аномалиями рудной природы.

Как отмечалось в разд. 5.3 технология прогнозирования секущих месторождений, залегающих в платформенном чехле, практически не отличается от технологии прогнозирования секущих месторождений в складчатых областях (она описана в разд. 5.1 и 6.1).

Поэтому ниже рассматриваются лишь вопросы, связанные с изучением закономерностей размещения и выделения перспективных площадей применительно к согласным месторождениям.

Результаты изучения связей рудных формаций согласных месторождений с перечисленными выше образованиями отражаются на КЗПИ и при необходимости на вспомогательных картах (карте геологических формаций, литолого-фациальных картах продуктивных горизонтов, карте геохимической специализации геологических формаций и др.).

Литолого-фациальные карты отражают литологические и фациальные минерагенические факторы, палеообстановки, влияющие на рудогенез, области сноса, границы водных бассейнов, пути движения подземных вод (если они рассматриваются в качестве рудоносных растворов) и др.

Карта геохимической специализации геологических формаций при ее сопоставлении с КЗПИ дает возможность проанализировать рудоконтролирующую роль геохимически специализированных геологических образований, аномальных геохимических зон и провести геохимическое районирование. На этой карте по результатам опробования и лабораторных

*См. примечание на с. 192 (разд. 5.3).

исследований показаны геохимически специализированные геологические формации, выделенные на основе высоких показателей содержаний рудных элементов и высоких коэффициентов вариации этих элементов (обычно содержания $> 2,5$ кларков, $V > 60\%$). Первичную геохимическую специализацию получают, исключая из выборки аномальные значения. В случае, когда аномальные показатели не исключают из выборки, полученные характеристики учитывают эпигенетические (в том числе рудоформирующие) факторы.

Результаты изучения геохимической специализации (геохимический тип и ведущие элементы ассоциаций) целесообразно показать на стратиграфической колонке легенды к карте.

Рудные концентрации (месторождения, рудопроявления, точки минерализации) изображаются знаками, отражающими их формационный тип и генетическую группу, геохимический тип ассоциации рудных элементов.

Палеогеологическое районирование должно быть проведено по основным этапам развития плитного комплекса. На палеосхемах выделяются основные структурные элементы, в том числе структурно-формационные и фациальные зоны, потенциально рудоносные геологические формации, месторождения и рудопроявления с указанием их формационного типа. На палеосхемах отображается также связь рудных объектов прогнозируемого типа с палеогеографическими условиями.

Примером удачного использования палеореконструкций являются их применение при изучении закономерностей размещения урановых месторождений в одном из районов Западной Сибири (Кудрявцев, 2001).

Рудовмещающие палеодолины средне-позднеюрского возраста расположены в юго-западной и юго-восточной частях прибрежной аллювиальной равнины средне-позднеюрского морского палеобассейна, распространенного в Западной Сибири. Они врезаны в доюрский фундамент до 200 м.

Длина палеодолин превышает 80 км, ширина их на уровне кровли верхнеюрских отложений от 1,0 до 4,0 км. Современный уклон дна палеодолины в верховьях 16–23 м/км, в нижней и средней части — 6 м/км. Крутизна бортов от 5 до 30°. Рудовмещающая толща включает три ритма, которые отражают особенности аллювиальной седиментации в различных палеотектонических (от активизации к платформенному режиму) и палеоклиматических условиях. Это фиксируется уменьшением

крупности обломочного материала вверх по разрезу палеодолины и снижением в том же направлении количества органического вещества (до $< 2\%$). Верхняя пачка изменена процессами грунтового окисления. В средней пачке сконцентрированы основные запасы урана. Она представлена чередованием русловых, пойменно-старичных и озерно-болотных гравийных и глинисто-песчаных образований. Цемент пород гидрослюдисто-каолининовый с монтмориллонитом. В обеленных (белых, эпигенетически измененных породах) содержание урана составляет десятки граммов на тонну. Уран сосредоточен в цементе и обломках лейкоксенизированного ильменита. В рудных телах содержится до 3% урана. Накопление урана в рудомещающих отложениях связано с дренированием палеодолин подземными и поверхностными водами.

Тектоническая активизация, которая затронула многие районы чехла древних и молодых платформ, способствовала созданию дренажных систем. Последние служили путями миграции и аккумуляции уранового оруденения.

6.4. Технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей в областях развития рудоносных гипергенных образований

Основой технологии изучения закономерностей размещения полезных ископаемых и выделения перспективных площадей при прогнозировании месторождений полезных ископаемых, контролируемых гипергенными образованиями, является изучение связей рудных формаций со следующими типами геологических образований:

- с эпохами корообразования;
- с палеоклиматическими обстановками;
- с палеогидрогеологическими обстановками;
- с региональными и локальными тектоническими структурами, в том числе с линейными зонами разрывных нарушений разных порядков;
- с гипергенными телами различного типа;
- с геологическими телами, представляющими собой первичный субстрат потенциально рудоносных гипергенных образований;

- с формами рельефа;
- с региональными и локальными геохимическими, шлиховыми, шлихогеохимическими ореолами.

В сфере гипергенеза сформированы месторождения бокситовых руд, силикатных руд никеля, содержащих более 80 % мировых запасов этого металла, все месторождения богатых руд железа (более 60 % Fe), богатых руд марганца (более 48 % Mn), огромные запасы урана, золота, редких земель, элювиальные и карстовые россыпи минералов рассеянных элементов, а также месторождения неметаллов: фосфоритов, серы, боратов, стронциевых и бариевых руд и пр. [115].

По Б. М. Михайлову [115, 149 и другие работы], с целью изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, все, возникшие в сфере гипергенеза типы рудоконтролирующих гипергенных тел (латериты, глинистый элювий, физическая кора выветривания, рудные шляпы, продукты селективного растворения), рассмотренные в разделе 5.4, целесообразно объединять в четыре крупные генетические группы, каждая из которых соответствует определенному типу гипергенеза: поверхностному, подземному, термальному и подводному, что в значительной степени уточняет их рудоконтролирующую роль (табл. 6.4.1):

Поверхностный гипергенез — комплекс процессов, происходящих на поверхности суши и проникающих вглубь с нисходящими водами. При этом возникают коры выветривания, инфильтрационные коры, рудные шляпы, кепрок, карстовые и флювиальные образования. Особый тип геологических тел, характерных только для сферы гипергенеза, образуют астроблемы.

Подземный гипергенез — комплекс процессов, происходящих в зоне гипергенеза, но не имеющих непосредственной связи с дневной поверхностью. Подземный гипергенез, в отличие от поверхностного, в значительно меньшей степени контролируется палеогеографическими обстановками, хотя и определяется экзогенными факторами. Среди продуктов подземного гипергенеза выделяются две резко различные группы гипергенных тел: палеоводоносные горизонты, с которыми связаны месторождения урана, и угольные пожарища.

Термальный гипергенез — комплекс процессов, происходящих в зоне гипергенеза под влиянием термальных вод: ювенильных, элизионных, артезианских и др. Термальный гипергенез приводит к возникновению трех типов гипергенных тел:

экзогидротермальных штоков, жил, колонн, линз, гидротермокарстовых тел и гидротермальных систем.

Состав приповерхностных частей зон термального гипергенеза в ряде случаев зависит от палеоклиматических обстановок, в связи с чем целесообразно выделять зоны термального гипергенеза, возникающие в условиях гумидного и аридного климатов.

Подводный гипергенез (гальмиролиз) — комплекс процессов в природных частях литосферы при ее взаимодействии с морской водой. В гальмиролитических преобразованиях пород существенная роль принадлежит восходящим термальным водам. Особый тип геологических тел, характерных только для сферы гипергенеза, образуют астроблемы.

Подземный гипергенез — комплекс процессов, происходящих в зоне гипергенеза, но не имеющих непосредственной связи с дневной поверхностью. Подземный гипергенез, в отличие от поверхностного, в значительно меньшей степени контролируется палеогеографическими обстановками, хотя и определяется экзогенными факторами. Среди продуктов подземного гипергенеза выделяются две резко различные группы гипергенных тел: палеоводоносные горизонты, с которыми связаны месторождения урана, и угольные пожарища.

Термальный гипергенез — комплекс процессов, происходящих в зоне гипергенеза под влиянием термальных вод: ювенильных, элизионных, артезианских и др. Термальный гипергенез приводит к возникновению трех типов гипергенных тел: экзогидротермальных штоков, жил, колонн, линз, гидротермокарстовых тел и гидротермальных систем.

Состав приповерхностных частей зон термального гипергенеза в ряде случаев зависит от палеоклиматических обстановок, в связи с чем целесообразно выделять зоны термального гипергенеза, возникающие в условиях гумидного и аридного климатов.

Рудоносность кор выветривания и продуктов их переотложения

Корообразование приводит к перемещению огромных масс вещества. В результате формируются прежде всего месторождения элювиальных полезных ископаемых (табл. 6.4.2).

Рассмотрим более подробно критерии прогнозирования разных типов месторождений.

Для уральских месторождений силикатного никеля характерны следующие особенности:

1. Приуроченность месторождений силикатного никеля к зонам сопряженных разломов;
2. Связь месторождений с корами выветривания дунит-гарцбургитовых ультрабазитов;
3. Связь наиболее богатых никелевых месторождений с областями тектоно-магматической активизации;
4. Месторождения силикатного никеля связаны с двумя эпохами корообразования — Mz и P–N.

Никель и кобальт концентрируются в корах выветривания ультраосновных пород. Промышленные скопления их приурочены к трем верхним элювиальным горизонтам — гидрохлоритовому, нонтронитовому и охристому. По данным А. А. Глазковского, среднее содержание никеля во всех этих горизонтах, составляющих единое рудное тело, обычно 1,0–1,3%. Исследования на Урале, Украине и в Казахстане показали, что основным рудным горизонтом является нонтронитовый, в котором постоянно содержится более 0,6% никеля. В центральных частях залежей, где сохраняется полный разрез коры выветривания, содержание никеля в нонтронитах больше 1%. В горизонте охр никеля в среднем более 0,5%.

Гидрохлоритовый горизонт неоднородный по литологическому составу и представлен, например, в Чидерты-Экибастузской полосе ультраосновных пород, тремя подгоризонтами (снизу вверх): 1) окремненных и карбонатизированных серпентинитов, 2) хлоритизированных серпентинитов, 3) гидрохлоритовых и нонтронит-хлоритовых рыхлых пород. Из них лишь подгоризонт рыхлых гидрохлоритов представляет несомненный интерес с точки зрения никеленосности. Так, в районе Чидерты-Экибастузского пояса рыхлые гидрохлоритовые породы содержат до 3% никеля.

По форме залегания выделяются четыре типа элювиальных силикатно-никелевых месторождений: 1) площадной; 2) линейный, трещинный и контактовый; 3) комбинированный; 4) карстовый. Для первого типа характерен охристо-нонтронитовый профиль с четкой вертикальной зональностью разреза и пластообразной формой залегания. Это наиболее распространенный тип месторождений данной формации, известный на

Урале, Украине, в Казахстане и других районах. Месторождения линейного типа приурочены к корам выветривания, связанным с зонами тектонических нарушений и литологических контактов. Этот тип месторождений впервые изучен на примере Новоаккермановского месторождения. В разрезе рудное тело имеет клинообразный вид с довольно крутыми стенками. Зональность в них менее четкая, чем в залежах площадного типа. Горизонт нонtronитов в корях линейного типа обычно отсутствует, хотя встречаются нонtronитизированные серпентиниты. Кроме того, особенностью месторождений этого типа является наличие специфических силикатов никеля и никельсодержащих минералов (гарниерит, керолит, сепиолит).

Комбинированный тип месторождений характеризуется тем, что под площадной залежью встречаются линейные (Эдельштейн, 1968). Сочетание двух типов месторождений делает их весьма перспективными. Размеры их значительные (например, Бурыктальское месторождение). Форма рудных тел пластовая, иногда последние распространены на глубину 100 м и более. Рудоносны в месторождениях этого типа те же горизонты, что и в месторождениях площадного типа: гидрохолритов, нонtronитов и охр. Содержание никеля в породах всех горизонтов превышает 1,1%. Одновременно отмечается до 0,2% кобальта.

Карстовый тип элювиальных месторождение представлен месторождениями Уфалейского и Режевского районов на Урале. Форма рудных тел этого типа месторождений очень сложная: руды заполняют полости в карбонатных породах и образуют линзообразные залежи на серпентинитах. Обычны залежи со сложным рельефом подошвы и кровли, уходящие иногда на глубину до 300 м, разнообразны мощности рудных тел, их конфигурация и вещественный состав. Наряду с никельсодержащими ожелезненными породами и охрами на контакте с карбонатными породами образуются галлуазит, никелевые силикаты (гарниерит, ревинит, непуит и керолит). Рудоносны обычно охры и ожелезненный глинистый сложного состава, элювий. В образовании этого типа руд принимают участие коры выветривания разных пород. В Режевском районе по соседству с элювиальными породами серпентинитов и карбонатов широко развиты каолинитовые, гидрослюдистые и монтмориллонитовые элювиальные горизонты разных исходных пород. В этих глинах содержание никеля достигает 4–5%. Карстовый тип почти всегда соседствует с линейными типами месторождений.

Известны месторождения элювиальные, элювиально-инфильтрационные. В областях тектоно-магматической активизации (например, Уфалейское месторождение на Среднем Урале) наблюдаются руды различного генезиса: инфильтрационные, элювиально-инфильтрационные и метасоматические — инфильтрационно-элювиальные.

Геоморфологический критерий у этого типа месторождений тот же, что и у других месторождений кор выветривания — наличие палеопенепленов. Известны три разновидности месторождений силикатного никеля: кимперсайский — связан с площадной корой выветривания, уфалейский — контактово-карстовая кора и новоаккермановский — линейные коры выветривания (элювиально-гидротермальный тип месторождений).

Бурые железняки и природно-легированные железные руды связаны с горизонтом охр коры выветривания ультраосновных пород. Рудные тела представлены как элювиальными, так и делювиальными переотложенными образованиями, которые развиты на площади 10 км² и более и по мощности достигают 20 м. Рудное тело состоит в основном из гидроксидов железа с заметной примесью хрома, никеля, кобальта, марганца. Форма рудных тел пластообразная, а в местах развития линейного типа кор выветривания линзовидная, неправильная, с очень прихотливыми границами. К этой же группе месторождений относятся и железистые шляпы, образовавшиеся при окислении сульфидных руд (Смирнов, 1951).

Бокситы — характерный продукт гипергенеза. Наиболее продуктивными для этого вида полезных ископаемых оказались девонская, карбоновая, мел-палеогеновая эпохи, с которыми связано формирование многих типов гипергенных рудных формаций. Бокситы являются специфическими гипергенными образованиями, сформировавшимися в условиях жаркого и влажного климата. При этом бокситоносные провинции образовались в благоприятных ландшафтно-тектонических условиях, в подвижных и окраинных частях платформы. Важным геологическим условием для формирования бокситовых залежей является наличие карстующихся карбонатных пород. Для сохранности бокситов от размыва необходимо их перекрытие глинистыми или карбонатными породами. Для образования и сохранения рудных тел надо, чтобы эрозия материнских пород не была интенсивной. При пенепленизации

карстовые впадины были теми участками, где мог накапливаться и сохраняться бокситовый материал.

На Северном Урале расположены наиболее крупные в России девонские месторождения бокситов — СУБР. Высококачественные руды представлены делювиально-элювиальными бокситами. Универсальность фациального ряда пород бокситоносных формаций девонского, карбонового и мел-палеогенового возраста (бокситы, бокситовые руды и коррелятные им континентальные образования) на ВЕП отражает сходность локализации месторождений различного генезиса — элювиальных и осадочно-элювиальных. Ловушками для бокситов служили эрозионные (карстовые и структурные) депрессии рудоконтролирующих поверхностей в карбонатных (Южный Тиман), терригенных (Тихвин, Северная Онега) и других (Средний Тимман, КМА, Украина) геологических формациях. Палеогеологическое картирование эпох бокситообразования является эффективным критерием выявления ловушек бокситов в субстрате (Основы научного прогноза, вып. VI, 1971). К таким ловушкам приурочены в южных районах Западной Сибири карстовые депрессии, заполненные нижнемеловыми пестроцветными глинами кийской свиты. С последней связаны залежи гиббситовых, рыхлых и бобовых бокситов в Чулымо-Енисейской впадине, на Салаире, в Томь-Колыванской зоне.

Элювиальные бокситы приурочены к верхним горизонтам коры выветривания. В настоящее время известна их связь с корами выветривания различных исходных пород, в частности изверженных пород основного состава и метаморфических сланцев. Бокситы образуют выдержанные по простиранию тела и залегают на приподнятых пенепленах выше каолинового горизонта. Переход бокситов в нижележащие каолиновые породы постепенный. Элювиальные бокситы состоят преимущественно из гиббсита с незначительной примесью бемита. В верхней части обычно залегают каменистые, а в нижней — рыхлые бокситы. Иногда в них сохраняются структурные особенности исходных пород.

Примером может служить Актогайское месторождение (Мугоджары), на котором исходные породы представлены габбро. На трещиноватых габбро лежат элювиальные зеленые монтмориллонит-хлоритовые глины, переходящие вверх по разрезу в пестроцветные каолиновые, мощностью до 15 м.

Выше залегают бурые каолинистые глины с алюможелезистыми бобовинами; мощность этих пород до 30 м, глинозема в них более 32%. Высокоглиноземистые глины перекрыты бобовыми и глинистыми бокситами, которые сохраняют реликтовую структуру; мощность их от 0,6 до 5 м. По существу, боксит представляет собой единое пластообразное тело. Глубина залегания рудного тела от 15–20 до 60–70 м. Боксит, по данным Ю. И. Кима, железистый, содержащий (%): SiO_2 1,8–7,4, Al_2O_3 37,5–41,0, Fe_2O_3 34–25,4 и TiO_2 до 2. Элювиальные бокситы перекрыты конгломератовыми, в которых Fe_2O_3 обычно 2,7%, но 41% глинозема. На этом месторождении выше лежат углистые глины альба (Ли, Певзнер, 1973.).

Месторождения каолинов связаны с корами выветривания гранитоидов, гнейсов, полимиктовых песчаников, слюдяных и глинистых сланцев, реже изверженных пород основного состава. Каолинистый и частично гидрослюдистый элювиальные горизонты служат основным объектом для получения этого сырья. Интересующие нас породы представлены каолинистыми глинами с примесью кварца. Основным минералом глинистых пород является каолинит. Содержание гидрослюдов в каолинизированных элювиальных породах сильно колеблется, причем с увеличением гидрослюдов возрастает количество кремнезема, щелочей и уменьшается количество глинозема. Самое высокое по качеству каолинистое сырье приурочено к каолинизированной дресве гранитов, в которой содержание Al_2O_3 достигает 38%, Fe_2O_3 не превышает 1,5–2,5%. Огнеупорность их нередко превышает 1670–1730 °С. Особую ценность представляют каолиниты с высоким содержанием щелочей, слагающие верхний горизонт кор выветривания микроклиновых гранитов и пегматитов. Чаще всего мощности каолинизированных пород изменяются от 2 до 10 м, на участках тектонических нарушений мощность элювия резко увеличивается (например, на Еленинском месторождении до 90 м).

Основными геологическими признаками прогноза месторождений кор выветривания являются:

- 1) связь различных элювиальных полезных ископаемых с корами выветривания определенных исходных пород;
- 2) приуроченность каждого вида элювиальных полезных ископаемых к определенному литологическому горизонту коры выветривания;
- 3) связь элювиальных полезных ископаемых с корами выветривания, формирующимися в определенных палеокли-

матических условиях; 4) связь элювиальных полезных ископаемых с зонами тектонических разломов, повышенной трещиноватости и литологических контактов; 5) локализация полезных ископаемых в карстовых депрессиях у контакта с другими породами (в частности с ультраосновными и основными); 6) связь продуктивных литологических горизонтов коры выветривания с палеорельефом.

Объектами непосредственного изучения при прогнозировании особенностей размещения элювиальных полезных ископаемых являются горизонты кор выветривания, перспективные для обнаружения месторождений полезных ископаемых. Эти горизонты при изучении естественных выходов и разработок опробуются с целью их оценки как возможного сырья. При выделении потенциальных рудных объектов учитываются как прямые, так и косвенные признаки (естественные выходы полезных ископаемых, обломки последних и сопутствующих им элювиальных пород, окраска перекрывающих отложений и др.), информация о которых по мере накопления фиксируется на карте фактического материала.

Рудоносность продуктов перетложения кор выветривания

Кора выветривания при формировании россыпных месторождений играет роль промежуточного коллектора. В табл. 6.4.2. показано значение элювиальных золотоносных россыпей в общем балансе запасов. Палеороссыпи золота связаны с рельефом палеосуши, корами выветривания. Индикаторными признаками для прогнозирования являются также единая направленность кратковременных перерывов, формирование вторичных, концентрация россыпеобразующих компонентов и стабильное положение областей питания и накопления. Последнее определяет масштабы объекта. Поэтому более высокая концентрация золота наблюдается в погребенных россыпях, приуроченных к грабенам, карсту, впадинам с толщами глинистого аллювия — продукта перемыва элювия. В аллювиальных россыпях в глинистых образованиях часто накапливается тонкодисперсное золото. Обычно такие находки связаны с K_2 —Р корами выветривания. Многие россыпи локализуются в переходных от депрессий к горным сооружениям зонах и пространственно совмещены с холмистым рельефом и мелкосопочником.

Была выявлена связь глубинного строения регионов с металлоносными россыпями. Так, на примере Алданского щита, приморья и ВЕП можно говорить о прямой корреляции районов развития золотоносных россыпей с рельефом поверхности Мохоровичича: практически все рудные районы (россыпи Au, Pt) приурочены к куполам и мантийным поднятиям (Щеглов и др., 1996). Кроме того, в россыпях на ВЕП — в терригенно-вулканогенных образованиях D_1 , комплексных золото-титаноциркониевых россыпях, фосфатоносных формациях и терригенных формациях J и K наблюдается как гипергенное, так и рудное золото (Филиппов и др., 2005). Россыпи пермского и триасового возраста приурочены к глубинным разломам системы Среднерусского авлокогена. Россыпная золотоносность ВЕП совпадает с эпохами тектоно-магматической активизации (Буслович, 2000).

Прогнозная оценка **алмазоносных россыпей** по сравнению с россыпями тяжелых металлов имеет свои специфические особенности. Это связано с геологическим строением областей их распространения. Опыт прогнозной оценки территорий на алмазы (в том числе россыпи) в нашей стране связан с геологией СП конкретно с платформенным чехлом в восточной части Тунгусской синеклизы. Для данной территории характерно широкое развитие среди осадочных формаций магматических образований (траппы, кимберлиты). В связи с этим при изучении платформенного чехла, в котором залегают алмазоносные россыпи, необходимо восстановление первичной структуры осадочных образований и реконструкция палеорельефа. Верхнепалеозойские терригенные отложения имеют в своем составе горизонты, содержащие переотложенные кимберлитовые материалы. *То есть они являются промежуточными коллекторами алмазов и его спутников между коренными источниками и россыпями.* Верхнепалеозойские отложения представляют собой комплекс циклитов, сложенных в нижней части грубозернистыми континентальными и тонкозернистыми бассейновыми породами в верхней части. Палеогеоморфологические и палеогеографические реконструкции условий их формирования свидетельствуют, что наблюдается неоднократное чередование континентальных и переходных к морским (бассейновых) обстановок. Такое положение обусловило режим разрушения расположенных на палеовозвышенностях среднепалеозойских

кимберлитовых тел и широкое рассеяние в посткимберлитовых отложениях минералов-спутников алмаза. Ореолы континентального и прибрежного происхождения показали на возможность накопления концентраций кимберлитовых минералов вдали от коренного источника (Салтыков, Эринчек, 1987, 1991).

Кимберлитовые тела (D_3-C_1) прорывают теригенно-карбонатные нижнепалеозойские отложения, сложенные кембрийскими и нижнеордовикскими образованиями. Последние образуют разновысотный и неравномерно эродированный кимберлитовмещающий цоколь, перекрытый разновозрастными отложениями, которые в пониженных участках содержат продукты разрушения кимберлитов и могут быть промежуточными коллекторами алмазов и их минералов-спутников. Слабо литифицированные образования Pz_1 и вулканогенно-осадочные T_1 интродуцированы пластовыми и секущими телами раннемезозойских траппов. В реальных разрезах траппы нередко как бы замещают верхнепалеозойские отложения. Иногда траппы бронируют верхнепалеозойские отложения и сохраняют их от размыва. Поэтому совокупность пластовых трапповых тел служит мериллом посттраппового денудационного среза территории.

Продукты размыва кимберлитов поступают в позднепалеозойские отложения за счет размыва среднепалеозойских кимберлитовых тел. Для создания условий формирования коллектора необходимы палеогеографические реконструкции, включающие палеоструктурные и палеогеоморфологические исследования. Выделение коллекторов алмазов — задача комплексная, которая состоит из литолого-стратиграфического расчленения и корреляции верхнего палеозоя, восстановления превичной структуры, реконструкции палеорельефа и фациального анализа. Грубозернистые песчано-галечные отложения образуют крупные линзообразные тела в понижениях подстилающего рельефа. В верхних частях палеовозвышенностей цоколя (малоамплитудные поднятия) выходят наиболее древние пласты нижнего палеозоя. В позднем палеозое они были областями местного сноса. Размеры их составляют первые десятки км². К ним приурочены перспективные россыпи склонов локальных структур [Салтыков, Эринчек, 1987].

Дочетвертичные россыпи на Урале приурочены к депрессивным зонам в полях развития R–Pz толщ вблизи положи-

тельных структур. На западном склоне Урала россыпи расположены вдоль бортов древних авлакогенов. Везде (в том числе на ВЕП) алмазонасные россыпи представлены грубообломочными образованиями. Прогнозный критерий — наличие кимберлитовых минералов.

В областях мелового пенеплена с хорошо развитыми разрезами кор выветривания формировались элювиальные и карстовые россыпи благородных металлов, W, Mo, Pb, Zn и др. Высокие концентрации Au приурочены к глинистым и алеврито-глинистым, а алмазов, Sn, Ti и Zr и TR — к грубым (песчано-галечным) осадкам.

При выделении перспективных площадей в областях развития гипергенных образований перспективно использование геохимических методов. Так, россыпная золотоносность на платформах, щитах и другого типа регионов обычно прямо совпадает с аномалиями Ag, Cu, Hg, Pb, Zn, Mo (иногда As) (Филиппов и др., 2005).

Для локального прогнозирования рекомендуется использование относительной геохимической подвижности элементов (окислов) K_i , для вычисления которой предложена формула:

$$K_i = \frac{C_k \cdot P_o^i}{C_o P_k^i},$$

где C_o , C_k — содержание относительно стабильного элемента (окисла) в исходных (C_o) и элювиальных (C_k) образованиях, вес.%; P_o^i , P_k^i — содержание искомого элемента (окисла) i в исходных и элювиальных породах, вес.%. Оценку K_i удобно производить по специальной шкале относительной подвижности (табл. 6.4.3.) (Геологическая съемка... вып. 5, 1973).

Для прогнозирования месторождений полезных ископаемых интерес представляют прежде всего те элементы (и ассоциации), которые попадают в типы концентрации и стабильный. Стабильный тип может оказаться полезным при оценке высококларковых химических элементов, например, в россыпях. Тип концентрации, отражающий общую тенденцию перераспределения элементов, несет информацию о накоплении любых химических элементов.

Элювиальные горизонты — гидрослюдистый, каолинитовый, каолинит-гиббситовый отражают этапность образования профиля коры выветривания, и основная смена условий формирования совпадает с их границами. Поэтому наиболее

информативным при оценке бокситоносности и золотоносности является каолиновый горизонт. Для определения рудоносности исходных образований следует опробовать нижние горизонты коры выветривания (гидрослюдистый, хлоритовый).

Для прогнозной оценки глубоко залегающих рудных объектов могут быть использованы данные металлотрии. При обработке результатов площадных геохимических исследований рекомендуется использование тренд-анализа или корреляционного анализа. На Южном Урале был изучен район, где месторождения силикатного никеля залегают на глубине до 300 м под современным делювием и терригенными образованиями мелового возраста. На площади около трети листа масштаба 1:200 000 были отобраны равномерно 140 проб из поверхностного (ниже почвы) делювия. Был проведен спектральный анализ проб и построены серии карт концентраций никеля и кобальта. Самой близкой к решению поставленной задачи оказалось построенная в режиме скользящего окна карта изокоррелят Ni—Co (рис. 6.4.1). Выяснилось, что над ультраосновными интрузиями для Ni и Co наиболее типичны отрицательные корреляции, над безрудными основными породами (также развитыми в районе месторождения) коэффициент корреляции между этими элементами близок к нулю. Лишь непосредственно над рудной залежью коэффициент корреляции между содержаниями этих элементов превышает +0,9 (Певзнер, Бурков, 1976).

Карта рудоносности зон гипергенеза

Карта рудоносности зон гипергенеза и россыпей составляется для выявления закономерностей формирования и размещения месторождений и проявлений полезных ископаемых, образованных гипергенными процессами, развивающимися в верхней, приповерхностной части земной коры. К производным зоны гипергенеза должны быть отнесены продукты континентального литогенеза, так как их образование является результатом взаимодействия литосферы, гидро-, атмо-, и биосферы. Глубина возможного распространения продуктивных гипергенных процессов определяется глубиной проникновения подземных вод атмосферного питания. Ведущими факторами, определяющими причины формирования и

эволюции зон гипергенеза являются климатические условия, тектонический режим и состав пород приповерхностной части континентальных блоков земной коры.

К блоку, включающему продукты гипергенеза, относятся: вещественные и морфологические типы кор выветривания (латеритный, каолиновый, нонtronитовый и др., имеющие площадной, линейный или карстовый тип), рудные шляпы и зоны окисления сульфидных и других месторождений, наложенные (эпигенетические) изменения проницаемых пород, проявленные главным образом в осадочных бассейнах (желтоцветные и красноватые окислительные, очаговые восстановительные — битуминизация, сульфидизация, каолинизация и др.). Выделяются типы рудных месторождений и проявлений, сформированных гипергенными процессами (остаточных и переотложенных кор выветривания), сложного генезиса с участием инфильтрационных и эксфильтрационных процессов, россыпных, ореола рассеяния и шлиховые потоки полезных ископаемых.

В интерпретационный блок включены основные металлотекты выявленных и прогнозируемых в зонах гипергенеза месторождений. К их числу отнесены геотектонические (палеотектонические) обстановки, существовавшие в эпохи рудогенеза; палеоклиматические и палеогеографические (фациальные) условия формирования потенциально рудовмещающих отложений и гидрогеологические данные, определяющие особенности развития эпигенетических процессов в зонах свободного и затрудненного водообмена в современную эпоху, и результаты геохимического и минералогического опробования.

Результирующий блок карты представляет собой результаты минерагенического анализа картографирования. На основе анализа составленной карты рудоносности зон гипергенеза выполняется районирование приповерхностной части земной коры и выделяются перспективные площади для постановки прогнозно-поисковых работ на различные типы гипергенных месторождений полезных ископаемых. Выявленные минерагенические таксоны гипергенных объектов — рудоносные и потенциально рудоносные дополняют общеминерагеническое районирование по листу в целом.

Легенда к карте зон гипергенеза составляется с учетом особенностей развития рудоформирующих гипергенных процессов в различных типах геологических структур, в пластовых

горизонтах, в зонах трещиноватости и карста. В легенде приводится литологический (петрографический) состав пород субстрата, с характеристикой первичных окислительно-восстановительных обстановок седиментогенеза и диагенеза и первично геохимически специализированных комплексов пород субстрата. На врезках показываются границы климатических, тектонических и палеогеографических областей. На схеме минерагенического районирования показываются границы минерагенических таксонов.

Результирующий документ проведенного минерагенического анализа — схема минерагенического районирования гипергенных объектов, а также геологических предпосылок формирования и прогнозно-поисковых критериев и признаков гипергенных месторождений. Выделяются рудные (рудноносные) и потенциально рудные объекты, перспективные на выявление традиционных, нетрадиционных и новых гипергенных месторождений. Схема состава пород субстрата используется для оценки степени податливости пород гипергенным преобразованиям и, в первую очередь, корообразованию. Из этой схемы могут вычитываться данные о распространении потенциально рудовмещающих пород с поровой, трещинной и карстовой проницаемостью. Схемы палеообстановок для основных эпох гипергенного рудообразования используются для восстановления особенностей хемогенной и механогенной миграции рудных элементов в гипергенной обстановке. При их составлении должны быть учтены особенности геологического строения и тектонических условий территории.

6.5. Технология прогнозирования полезных ископаемых на геодинамической основе

Вопросам методологии и методики прогнозирования полезных ископаемых на основе плейттектонического подхода, включая методы геодинамических реконструкций, посвящены работы (Абрамович И. И., Бурдэ А. И., Вознесенский В. Д. и др. Геодинамические реконструкции, 1989; Межеловский Н. В. Научно-методические основы прогрессивных технологий региональных геологических исследований. 1990; Гусев Г. С., Минц М. В., Мусатов Д. И. и др. Методика геодинамического

анализа при геологическом картировании / Под ред. Н. В. Межеловского, 1991; Основы металлогенического анализа при геологическом картировании. Металлогения геодинамических обстановок / Под ред. Д. В. Рундквиста, 1995 и другие многочисленные публикации).

В соответствии с перечисленными работами ниже приводится последовательность операций по прогнозированию месторождений полезных ископаемых на геодинамической основе (табл. 6.5.1) и рассматривается их содержание.

Первая операция (табл. 6.5.1) — разработка геодинамической модели исследуемого района. Проводится целенаправленный анализ всего имеющегося геолого-геофизического материала, включая МДЗ, с целью отнесения рассматриваемой территории к соответствующей геодинамической обстановке (разд. 2.5). Далее составляются схемы тектонического районирования на геодинамической основе, таблицы выделенных геодинамических комплексов, наглядно поясняющие структурно-вещественные особенности изучаемой площади и динамику ее развития.

Вторая операция — региональный прогноз методом актуалистической аналогии. В основу положен принцип актуалистической аналогии — геодинамические комплексы геологического прошлого потенциально перспективны в отношении спектра полезных ископаемых, характерных для их аналогов в эталонных современных геодинамических обстановках. Метод актуалистической аналогии при прогнозно-металлогенических построениях используется наряду с формационным и традиционным структурным анализом при изучении структурно-вещественных комплексов, их сравнительных характеристик, необходимых для выявления генетических (парагенетических), структурных и иных связей с особенностями формирования полезных ископаемых. Методика проведения мелкомасштабных прогнозно-металлогенических исследований в общем не зависит от принятой тектонической концепции развития региона, однако имеет некоторые особенности при плейттектоническом подходе. К ним следует отнести:

— при интерпретации геологических, геохимических, геофизических и дистанционных данных с позиции тектоники плит более надежно восстанавливается геологическая история развития территории, определяется последовательность

формирования и природа сравниваемых рудоносных структурно-вещественных комплексов, чем это достигается с использованием иных подходов;

— использование геодинамического анализа в значительной мере способствует изучению процессов рудообразования в различных геологических обстановках и помогает выяснению многих аспектов рудогенеза, таких как источник рудного вещества, рудогенерирующие и рудолокализирующие процессы и способствует установлению рудоконтролирующих факторов.

По итогам проведения мелкомасштабных исследований по ГМК-500 (первая и вторая операции) дается общая прогнозно-металлогеническая характеристика изучаемого региона, которая предусматривает выделение металлогенических таксонов в ранге металлогенических зон, рудных районов и их прогнозную оценку — определение металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов категории P_3 .

Третья операция — исследование структурных, литолого-петрографических и иных критериев прогноза. Производятся палеогеодинамические реконструкции и моделирование палеогеодинамических обстановок, рудообразующих и рудолокализирующих процессов, используемых при прогнозных исследованиях в процессе ГМК-200. Наиболее эффективным методом геодинамических реконструкций является выделение на территории геологических формаций — индикаторов палеогеодинамических обстановок геологического прошлого (разд. 2.5). Изучение химизма, состава и особенностей строения этих формаций, их современного структурного положения, степень их сохранности, определение палеоширот районов их формирования в геологическом прошлом для создания палинспастических схем размещения районов осадконакопления и рудообразования, соотношения выделенных структурно-формационных комплексов с окружающими структурами и их сравнение с современными обстановками формирования — все вместе дает обширный материал для геодинамических реконструкций. Анализ направлен на изучение источников рудного вещества, условия, механизм и пути его миграции, процессы и уровни аккумуляции и локализации, включая промышленные концентрации.

Палеогеодинамические реконструкции, разрабатываемые для различных эпох — дорудных, рудных и пострудных — являются важнейшим методом не только всестороннего

пространственно-временного исследования структурно-вещественных комплексов изучаемого региона, но и методом, позволяющим восстановить геологическую историю его развития. Следует разрабатывать как мелкомасштабные (обзорные) реконструкции, так и крупномасштабные, которые характеризуют наиболее сложные соотношения геологических тел с рудными образованиями. Методика региональных палеогеодинамических реконструкций, кроме уже упоминавшихся работ, изложена в монографии Л. П. Зоненшайна и М. И. Кузьмина «Палеогеодинамика» (1993), при производстве предполевых, полевых и камеральных работ — в методическом руководстве «Геодинамические реконструкции» (1991).

Основные принципы разработки мелкомасштабных и крупномасштабных палеогеодинамических реконструкций одни и те же, но различаются детальностью проработки и применяемой методикой изучения, зависящей от особенностей геологического строения конкретного региона. Так, для регионов, сложенных стратифицированными осадочными толщами с компенсированным осадконакоплением, может успешно использоваться метод изопахит в сочетании с тонкими методами седиментационного, петрографического и минералогического анализа; для областей наземного вулканизма — петрографические, петролого-геохимические и структурные методы и т. п.

По результатам проведенного анализа и синтеза геологической, геофизической, геохимической, дистанционной и аналитической информации в соответствии с современными представлениями о глубинном строении земной коры выявляются закономерности размещения полезных ископаемых и создаются прогнозно-поисковые модели структур ранга минерагенических зон, рудных районов и узлов. Моделирование процессов рудообразования и выделение различных минерагенических таксонов, классифицированных по их иерархическим уровням, позволяет более широко использовать компьютерные технологии обработки данных и проводить сравнительную характеристику конкретных изучаемых рудоносных структур с типовыми, эталонными.

Четвертая операция — разработка моделей формирования и локализации месторождений полезных ископаемых. Исследования представляют собой синтез главных результатов трех первых операций прогнозных исследований и формирование многовариантных стохастических моделей. Много-

вариантность моделей обусловлена многовариантностью самих палеогеодинамических реконструкций, критериев прогноза, математического и физико-химического моделирования. Все модели формирования и локализации месторождений полезных ископаемых должны содержать удовлетворительные варианты решения вопросов, связанных с источниками рудного вещества, условиями его концентрации и локализации [126]. Разработанная Л. Н. Овчинниковым (1988) типовая модель формирования месторождений включает в себя следующие факторы и параметры: глубинность зарождения геологического процесса, порождающего рудообразование; тип геодинамической обстановки; тип геологического процесса; источник рудного вещества; источник рудообразующего процесса; источник энергии рудного процесса; рудообразующий раствор, среда отложения; механизм отложения; зональность; взаимодействие с вмещающими породами; термодинамическая обстановка рудоотложения.

Пятая и шестая операции — проверка моделей формирования месторождений полезных ископаемых. Установленные в результате минерагенического анализа региональные и локальные рудоконтролирующие факторы, проведенное на их основе металлогеническое районирование и выделение прогнозных площадей проверяется и корректируются при выполнении полевых и камеральных работ.

На завершающем основном этапе ГМК-500, и ГМК-200 после внесения изменений и дополнений в разработанные модели проводится окончательная доработка всего собранного материала, составляется необходимая графика, определяются металлогенический потенциал и прогнозные ресурсы для выделенных прогнозных площадей.

Использование геодинамического анализа при прогнозно-металлогенических исследованиях сыграло важную роль в изучении ранее практически неизвестных месторождений полезных ископаемых океанических обстановок, позволило с иных, актуалистических, позиций рассмотреть закономерности размещения полезных ископаемых на континентах, использовать новые методические подходы в прогнозных построениях с разработкой моделей формирования, как самих рудоносных структур, так и локализованных в них рудных концентраций. Однако сам геодинамический подход к металлогеническому анализу может быть удовлетворительно реализован только с

совместным изучением структурных, палеогеографических, вещественных, физических, химических и других факторов рудообразующих и рудо локализирующих геологических процессов.

Во ВСЕГЕИ разработан банк критериев рудоносности геодинамических обстановок и геологических формаций, представляющих собой электронную базу данных, предназначенную для хранения и быстрого извлечения многофакторных сведений о критериях рудоносности типовых геологических обстановок и геологических формаций при оперативной оценке рудоносности крупных территорий. В виде электронных таблиц представлены данные по рудоносности 23 геодинамических обстановок и характеристике 243 геологических формаций, включая конвергентные аналоги, встречающиеся в различных геодинамических обстановках [154]. В каждой из 23 таблиц приводятся сведения о конкретной рудоконтролирующей геологической формации, отнесенной к определенным типам — осадочным, плутоническим, метаморфическим, зонам гипергенеза. Даются параметры рудных элементов — содержание и коэффициент рудоносности. Указываются типы связи геологической формации с рудной формацией — рудовмещающая, рудоносная продуктивная, рудоносная материнская и т. д. В отдельной колонке приводятся данные о продуктах сопутствующих гидротермальных изменений. Рудные формации, сформировавшиеся в определенной геодинамической обстановке, разделены на главные и второстепенные. Для главных указываются рудные элементы, их содержание, значение удельной рудоносности, размеры месторождений полезных ископаемых, наиболее характерные для данной обстановки, типоморфные особенности рудных тел (согласные, секущие, трубки взрыва и т. д.), формационный тип (Джезказганский и др.). Зональность в формировании полезных компонентов разделена на горизонтальную и вертикальную, указывается размах (размер) оруденения и глубина образования. Для каждой из рудоконтролирующих формаций и соответствующих ей главных рудных формаций приводятся сведения об их положениях в современных тектонических структурах (складчатых, дизъюнктивных), даются примеры месторождений и их типовые аналоги, отмечаются наиболее продуктивные эпохи рудообразования, а также сопутствующие геофизические поля.

Глава 7. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ КАТЕГОРИЙ P_3 И P_2

Оценка прогнозных ресурсов является одной из наиболее ответственных и вместе с тем наиболее сложной задачей ГМК.

Прогнозные ресурсы оцениваются для всех типов полезных ископаемых, указанных в геологическом задании в качестве объектов прогнозирования. Оценка производится в установленных или уточненных в процессе ГМК границах рудных районов, узлов, зон, полей, предполагаемых месторождений, для каждого выделенного по результатам ГМК и для каждого переоцениваемого ранее установленного объекта полезных ископаемых с определением промышленного типа, вероятных размеров месторождений, количества и качественного состава минерального сырья, интервалов и глубин распространения полезных ископаемых, а также других характеристик, влияющих на геолого-экономическую оценку прогнозных ресурсов.

При ГМК-500 оцениваются прогнозные ресурсы выделенных в процессе работ потенциальных рудных районов и узлов по категории P_3 и, при необходимости, с учетом новых данных переоцениваются прогнозные ресурсы ранее установленных.

При ГМК-200 должны быть оценены по категории P_3 прогнозные ресурсы выделенных в процессе работ потенциальных рудных районов и узлов и по категории P_2 — прогнозные ресурсы потенциальных рудных полей, месторождений, возможная перспективность которых подтверждена обнаружением проявлений полезных ископаемых, геофизических и геохимических аномалий рудной природы, других прямых и косвенных поисковых признаков. При необходимости прогнозные ресурсы ранее установленных рудных районов и узлов должны быть переоценены с учетом новых данных, полученных в процессе работ, по категории P_3 , рудных полей — по категории P_2 .

Переоценка прогнозных ресурсов ранее установленных рудных районов, зон, узлов, полей и месторождений должна

производиться во всех случаях, когда в процессе ГМК были существенно уточнены их границы, получены новые данные о перспективах на глубину, о минерагенических факторах и поисковых признаках или другие данные, определяющие возможные масштабы прогнозируемого оруденения.

При выявлении перспектив обнаружения на площади ГМК ранее неизвестных и не предусмотренных геологическим заданием типов полезных ископаемых, являющихся стратегическими, высоколиквидными, остродефицитными или экономически важными для региона видами минерального сырья, должны быть оценены их минерагенические ресурсы (минерагенический потенциал) в пределах площади работ.

Методика оценки прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 рассмотрена в работах ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ, ВИЭМС [3, 9, 16, 27, 108, 111, 112, 113, 152, 166, 179 и др.]. Кроме того, методика оценки металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов категории P_3 подробно рассмотрена в «Регламенте обоснования, апробации, учета и мониторинга информации о металлогеническом потенциале и прогнозных ресурсов категории P_3 , стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов сырья» (ВСЕГЕИ, 2005).

Особенностью оценки прогнозных ресурсов при ГМК является возможность целенаправленного изучения всей совокупности минерагенических факторов, определяющих закономерности размещения объектов прогнозирования, критерии их выделения и оконтуривания, вероятное количество и качественный состав минерального сырья. Результаты изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, закономерностей размещения полезных ископаемых, отраженные на ПМК, в электронной базе данных, а также в прогнозно-поисковых моделях, составленных или скорректированных в процессе ГМК применительно к особенностям проявления оруденения на площади работ (гл. 3, 4), являются главной основой информационного обеспечения оценки прогнозных ресурсов рудных районов, узлов, полей, выявленных по результатам ГМК или переоценки ранее установленных.

Наличие качественного информационного обеспечения является главным условием комплексного характера оценки прогнозных ресурсов, осуществляемого с учетом принадлежности оцениваемого рудного объекта к определенной рудной формации, определенному промышленному типу и типичных для

них масштабов оруденения, всех особенностей геологической обстановки, влияющих на масштабы оруденения и качество полезного ископаемого, а также геофизических и геохимических материалов, МДЗ, имеющихся результатов опробования и данных каротажа.

Качество информационного обеспечения оценки прогнозных ресурсов предопределяется достоверностью и необходимой для каждого типа объектов прогнозирования степенью детальности изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, а также достоверностью и полнотой изучения закономерностей размещения полезных ископаемых (гл. 5 и 6). В ряде случаев при оценке прогнозных ресурсов необходимо проведение детализационных исследований на оцениваемых объектах, по крайней мере, на наиболее перспективных из них, что предусматривается «Требованиями к проведению геолого-минерагенического картирования масштаба 1 : 500 000—1 : 200 000».

Такие работы могут заключаться в проведении дополнительных геофизических и (или) геохимических исследований, шлихового или шлихо-геохимического опробования, геологических маршрутов, проходке в ограниченных объемах канав и шурфов, единичных скважин и проведении их каротажа, опробовании.

При оценке по категории P_2 прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений с контрастными по физическим свойствам рудными телами детализационные исследования проводятся для оценки параметров оруденения. Применяются (в зависимости от того, по каким физическим свойствам рудные тела наиболее контрастны по отношению к вмещающим породам) гравиразведка, магниторазведка, метод переходных процессов (МПП), вызванной поляризации (ВП или ВЭЗ-ВП) и др., иногда проводятся скважинные геофизические исследования (табл. 7.1).

В скважинах с рудными подсечениями для оценки содержаний полезных компонентов применяются ядерно-физические методы каротажа: для оценки содержаний Pb, Zn, Cu, Sn, Mo, W — рентгено-радиометрический (РРК); Ni, Cu, Hg, Fe — спектрометрический нейтронный гамма-картаж (СНГК); В, Li, Ag, Ta, Cs и редкоземельных элементов — нейтрон-нейтронный (ННК); Cu, Al, Si — спектрометрический нейтронный активационный (СНАК) [99, 152].

Проведение детализационных исследований, в особенности при оценке прогнозных ресурсов категории P_2 может составлять весьма заметную долю общей стоимости ГМК, поэтому при их проведении должны быть проанализированы все возможности сокращения затрат без снижения достоверности результатов:

— возможность замены площадных геофизических или геохимических исследований профильными или, при проведении этих исследований в площадном варианте, возможность увеличения расстояний между профилями за счет сгущения точек измерений на профилях;

— сокращение числа скважин и горных выработок за счет их оптимального расположения с учетом результатов комплексной интерпретации всех наземных и дистанционных исследований на оцениваемом объекте — геологических, геофизических, геохимических, МДЗ;

— проведение скважинных геофизических исследований «односкважинными» или, при необходимости, «двухскважинными» методами, проведение их не на всей площади рудного поля, а на одном-двух локальных участках, наиболее информативных с точки зрения оценки параметров оруденения, с последующей их экстраполяцией на весь оцениваемый объект (рудное поле) с учетом результатов наземных геофизических и геохимических и других исследований, а также на другие однотипные объекты.

Результаты проведенных детализационных исследований включаются в электронную базу данных и используются не только для оценки прогнозных ресурсов исследованного объекта, но и других, аналогичных, — либо непосредственно, либо путем применения специализированной (геофизической, геохимической или иной) модели, построенной или уточненной по этим результатам.

Оценка прогнозных ресурсов должна осуществляться комплексно с использованием всей совокупности результатов изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, прогнозно-поисковых моделей объектов полезных ископаемых прогнозируемого типа, составленных или скорректированных в процессе ГМК применительно к особенностям геологической обстановки и оруденения прогнозируемого формационного или промышленного типа (типов) на данной конкретной площади, геофизических и геохимических материалов, МДЗ, имеющихся результатов опробования и данных каротажа.

При выборе методов оценки прогнозных ресурсов следует отдавать предпочтение тем из них, которые позволяют произвести подсчет ресурсов с использованием параметров, полученных на основе прямых наблюдений и измерений (геологических, геофизических, геохимических и др.) при минимальном использовании тех или иных допущений. Наиболее универсальные из таких методов — методы оценки на основе использования аналогии с эталонными рудными объектами (9) или с их обобщенной моделью и разновидности этих методов, основанные на применении алгоритмов регрессионного анализа или распознавания образов, а при отсутствии эталонов (в частности при оценке объектов полезных ископаемых с прогнозируемым оруденением новых генетических или промышленных типов) — методы прямой (безэталонной) оценки прогнозных ресурсов путем подсчетов по параметрам среды и оруденения [71, 111, 112, 113]. Эти методы применяются в комплексе с другими, прежде всего с различными разновидностями методов оценки по геофизическим, по геохимическим данным, структурно-геометрическими и экспертными. Различаются два подхода к комплексированию методов оценки прогнозных ресурсов: 1) использование какого-либо метода для оценки тех или иных параметров, применяемых при проведении оценки другим методом (например, оценка коэффициента подобия, определяемая путем использования алгоритмов распознавания образов или регрессионного анализа при подсчете прогнозных ресурсов методом аналогии); 2) применение двух или более методов оценки в качестве самостоятельных, с последующим сопоставлением и увязкой их результатов.

Во всех случаях следует стремиться к тому, чтобы в результате комплексирования были задействованы все геологические, геоморфологические, геофизические, геохимические, аэрокосмогеологические признаки, для которых установлена связь с масштабами оруденения, а применяемые методы позволяли осуществить подсчет прогнозных ресурсов при минимальном использовании субъективных оценок и допущений.

Геофизические методы применяются: 1) в качестве самостоятельных методов — для непосредственной оценки прогнозных ресурсов по параметрам геофизических аномалий рудной природы (в тех случаях, когда рудные образования или окколорудные гидротермалиты контрастны по физическим свойствам по отношению к вмещающим породам); 2) для оценки

параметров рудных тел (если они контрастны по физическим свойствам) с последующей оценкой прогнозных ресурсов методом подсчетов по параметрам оруденения; 3) для определения или уточнения пространственных параметров (длины, площади, глубины распространения, объема рудоконтролирующих образований), используемых при применении метода аналогии и метода прямых подсчетов по параметрам среды, в особенности в тех случаях, когда оцениваемый объект полезных ископаемых частично или полностью перекрыт рыхлыми отложениями. При необходимости, для определения глубины распространения или объема рудоконтролирующих образований, а также параметров оруденения должно применяться объемное геолого-геофизическое моделирование методом подбора на компьютере.

Геохимические методы применяются: 1) в качестве самостоятельных методов — для непосредственной оценки прогнозных ресурсов по параметрам геохимических аномалий рудной природы (в основном по продуктивности геохимических ореолов); 2) для определения удельной рудоносности, используемой для оценки прогнозных ресурсов методом аналогии и методом подсчетов по параметрам среды; 3) для уточнения формационной принадлежности оцениваемых рудных объектов; 4) для оценки уровня их эрозионного среза; 5) для оценки глубины залегания оцениваемых рудных объектов, не выходящих на уровень эрозионного среза.

В трех последних случаях следует использовать данные по геохимической зональности объектов прогнозируемого типа (а при наличии рудопродуктивных гидротермалитов также данные по гидротермально-метасоматической и обусловленной ею геофизической зональности), содержащиеся в модели объекта прогнозирования.

Структурно-геометрический метод применяется либо в качестве самостоятельного метода оценки прогнозных ресурсов, либо выявленные структурно-геометрические закономерности используются для формирования признаков (например, расположение объекта полезных ископаемых в узлах решетки рудоконтролирующих разрывных нарушений, вдоль ее сторон, внутри ячеек), используемых наряду с другими признаками при оценке прогнозных ресурсов методом аналогии или распознавания образов. При применении структурно-геометрического метода, для прослеживания и ранжирования рудо-

контролирующих разрывных нарушений, изучения систем рудоконтролирующих разрывных нарушений используются МДЗ и (или) геофизические материалы.

Экспертные методы (метод Монте-Карло, метод Дельфи, простые экспертные оценки) применяются либо в качестве самостоятельных методов — для непосредственной оценки прогнозных ресурсов объектов полезных ископаемых, либо для оценки тех или иных параметров (например, удельной рудоносности при применении метода прямых подсчетов по параметрам среды). Наиболее важная область применения экспертных методов — оценка прогнозных ресурсов в тех случаях, когда по объективным причинам не удастся надежно определить те или иные параметры оценки эмпирическим путем (например, при отсутствии или недостаточной представительности эталонных объектов).

Применение тех или иных методов оценки прогнозных ресурсов незначительно зависит от масштаба ГМК. В основном меняются конкретные способы их применения и используемые при оценке минерагенические факторы. В значительно большей степени выбор методов оценки прогнозных ресурсов определяется наличием или отсутствием представительных эталонных объектов.

При ГМК-500 наиболее универсальными (применимыми к любым типам полезных ископаемых) и достаточно объективными методами оценки прогнозных ресурсов являются метод аналогии и его разновидности — распознавания образов и регрессионный. При отсутствии или недостаточной представительности эталонных объектов наиболее универсальными методами оценки являются метод подсчетов по параметрам среды и экспертный.

Геохимические методы оценки применимы как при наличии эталонных объектов, так и при их отсутствии, однако в первом случае характер зависимости между параметрами геохимических ореолов и масштабами оруденения может быть определен эмпирически, во втором его приходится вводить на основании тех или иных допущений.

Метод оценки по параметрам геофизических аномалий применяется независимо от наличия или отсутствия эталонных объектов в тех случаях, когда рудные образования контрастны по физическим свойствам по отношению к вмещающим породам, а имеющиеся геофизические материалы ГМК-500 или

предшественников, достаточно информативны для применения метода. При этих условиях метод является одним из наиболее объективных и надежных.

Область применения структурно-геометрического метода ограничена случаями, когда отчетливо устанавливается связь объектов прогнозирования с узлами пересечения разноориентированных систем субпараллельных рудоконтролирующих разрывных нарушений, которые геометризуются в виде относительно правильной сети [111, 112, 113] или когда в пределах металлогенической зоны наблюдается периодичность в распределении рудных районов или узлов (их центры находятся на примерно равных расстояниях по простиранию металлогенической зоны), как правило, обусловленная периодичностью распределения региональных разрывных нарушений, поперечных по отношению к металлогенической зоне [172].

Наиболее важными признаками, используемыми при оценке прогнозных ресурсов рудных районов, зон, узлов являются геологические и связанные с ними рудные формации и их тектоническая позиция, региональные разрывные структуры, поля развития региональных гидротермалитов, геохимических, геофизических аномалий и другие региональные минерагенические факторы.

При ГМК-200 наиболее универсальными также являются метод аналогии и его разновидности — распознавания образов и регрессионный. При отсутствии или недостаточной представительности эталонных объектов наиболее универсальными методами оценки являются метод подсчетов по параметрам оруденения, экспертные.

Значительно большую роль по сравнению с ГМК-500 играют методы оценки прогнозных ресурсов по параметрам геофизических аномалий (для полезных ископаемых, физические свойства которых контрастны по отношению к вмещающим породам), по параметрам геохимических аномалий (преимущественно для металлических полезных ископаемых).

Наиболее важными признаками, используемыми при оценке прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений, наряду с формационными являются локальные рудоконтролирующие структуры, локальные рудоконтролирующие геологические тела осадочного, магматического, метаморфического происхождения, рудопродуктивные гидротермалиты, локальные геофизические аномалии, обусловленные рудоконтролирующими

телами и структурами, геохимические и геофизические аномалии рудной природы.

Особое внимание в каждом конкретном случае должно быть уделено наличию или отсутствию признаков, свидетельствующих о крупных размерах оцениваемого объекта полезных ископаемых. С точки зрения методики оценки прогнозных ресурсов эти признаки подразделяются на две группы.

К первой группе относятся признаки, которые непосредственно могут быть учтены при оценке прогнозных ресурсов методом прямых подсчетов по параметрам среды или методом аналогии. К таким широко известным признакам могут быть отнесены крупные размеры рудоматеринских мафит-ультрамафитовых или щелочных плутонов и высокая степень их дифференциации, свидетельствующие о вероятно значительных масштабах хромитового, платиноидного оруденения (в плутонах дунит-перидотитовой или перидотит-пироксенит-норитовой формации), тантало-ниобиевого, редкоземельного, апатитового оруденения (в плутонах формации агпайтовых нефелиновых сиенитов), крупные размеры тел рудопродуктивных гидротермалитов, контролирующих оруденение медно-порфировой, молибденитовой калишпатолит-березитовой и других рудных формаций.

Ко второй группе признаков, свидетельствующих о крупных размерах оцениваемого объекта полезных ископаемых, относятся признаки, трудно формализуемые вследствие их индивидуальности для каждого объекта — они могут быть качественно различными в различных крупных объектах одного формационного или геолого-промышленного типа или присутствовать в различных сочетаниях. Эти признаки наиболее характерны для рудных полей и месторождений гидротермального генезиса. Они прямо или косвенно свидетельствуют о значительном масштабе рудообразующих процессов, их многоэтапности, продолжительности этапов и всего процесса рудообразования. К ним относятся — полиформационность и полигенетичность рудной минерализации, необычно большое количество гидротермальных минералов и разнообразие типов гидротермалитов, рудных минералов и их ассоциаций, текстур и структур руд, ассоциаций элементов-спутников основного оруденения в геохимических аномалиях, многочисленные нарушения рудной, геохимической и гидротермально-метасоматической зональности вплоть до образования обратной зональности, высокие

значения коэффициентов вариации и полимодальность распределения многих химических элементов во вмещающих породах, в том числе за пределами геохимических аномалий, и другие подобные признаки, для которых трудно установить даже приближенные количественные зависимости между их наличием и масштабами проявления оруденения. Кроме того, возможность выявления этих признаков в каждом конкретном случае сильно зависит от степени изученности оцениваемого объекта. В силу этих особенностей рассматриваемой группы признаков их влияние на оценку прогнозных ресурсов может быть в той или иной степени учтено в виде суммы балльных оценок или с помощью экспертных методов.

При оценке прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 важную роль играет оценка уровня эрозионного среза оцениваемых рудных объектов. Она производится с учетом вертикальной геологической зональности — рудной, рудно-геохимической, геохимической, гидротермально-метасоматической, с применением прогнозно-поисковых моделей, в том числе специализированных моделей, отображающие те или иные виды зональности рудных районов, узлов, полей месторождений (гл. 3 — рис. 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10).

В случае оценки прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 рудных объектов, не выходящих на поверхность (погребенных, слепых или погребенно-слепых), наиболее надежными методами оценки являются методы, основанные на принципе аналогии, в комплексе с методом оценки на основе площадных геохимических съемок, иногда очень надежные результаты в комплексе с методом аналогии дает применение геофизических методов — либо для непосредственной оценки суммарного объема или массы рудного вещества (в случае, если руды контрастно различаются по тем или иным физическим свойствам от вмещающих пород), либо для оценки суммарного объема или массы рудопродуктивных гидротермалитов, если они контрастно различаются по тем или иным физическим свойствам от вмещающих пород, с последующим умножением на их эталонную продуктивность (последний метод сам по себе является методом аналогии). При оценке прогнозных ресурсов, не выходящих на поверхность рудных объектов, особенно важен учет типичных для данной рудной формации масштабов оруденения.

Метод аналогии при оценке прогнозных ресурсов рудных районов и узлов, как выходящих, так и не выходящих на

поверхность, как правило, базируется на использовании данных по удельной рудоносности рудоконтролирующих образований — объемной, площадной или линейной, рассчитанной на эталонных рудных районах или узлах, или на опоискованных частях оцениваемого рудного объекта [9, 111].

Оценка прогнозных ресурсов осуществляется путем умножения удельной рудоносности на соответствующую пространственную характеристику с введением поправок, отражающих степень аналогии прогнозируемых и эталонных площадей, а также степень надежности прогноза. Эти поправки вводятся путем умножения на соответствующие коэффициенты [9].

Конкретные способы оценки прогнозных ресурсов категории P_3 методом аналогии, зависят от типа рудного района или узла, прежде всего от характера взаимосвязей рудно-геохимической зональности рудного района или узла с рудоконтролирующими геологическими телами.

Для большинства рудных районов и узлов типов IA, IVA, VA (табл. 2.1.3, гл. 2), с рудногеохимической зональностью, согласной с элементами магматической расслоенности крупных плутонов, стратификацией осадочных, вулканогенных, метаморфических комплексов, наиболее надежным геометрическим параметром оценки прогнозных ресурсов является объемная продуктивность рудовмещающих частей разреза дифференцированных плутонов или стратифицированных вулканогенных, осадочных, метаморфических комплексов, при условии предварительного проведения комплексного объемного геолого-геофизического и геохимического моделирования объекта оценки по методике, рассмотренной в разд. 4.3.

Основные геометрические параметры оценки прогнозных ресурсов рудных районов, зон, узлов остальных типов (IB, IIA', IIB, IIIA', IIIB, IVB, VB) — площадная продуктивность рудного района в целом или линейная продуктивность главных рудоконтролирующих разрывных структур, контактовых зон интрузивов и т. д.

Для реализации метода аналогии применительно к оценке рудных районов и узлов, не выходящих на поверхность, в рассматриваемом варианте, для уточнения формы и размеров рудоконтролирующих образований могут оказаться необходимыми дополнительные, как правило, профильные геофизические исследования — для рудных районов и узлов типов IA, IB, IIA', IIB, IIIA', IIIB, IVA, IVB — гравиразведка и магниторазведка,

а для рудных районов и узлов типа VA, перекрытых платформенными отложениями, — гравиразведка и отдельные профили сейсморазведки КМПВ или электропрофилирования.

При оценке прогнозных ресурсов категории P_2 наиболее универсальным методом также является метод аналогии. В случаях, когда рудные тела или рудопродуктивные гидротермалиты контрастны по физическим свойствам по отношению к вмещающим породам, метод аналогии дополняется теми или иными методами оценки по геофизическим данным.

Для рудных объектов с контрастными по физическим свойствам рудными телами в наиболее общих случаях по аномалиям физических полей непосредственно вычисляется объем рудной массы в целом либо определяются первоначально общие контуры месторождения с выделением наиболее крупных рудных тел, а затем по системе разрезов путем решения прямой и обратной задач моделируются сечения и морфология месторождения (рудных тел). Расчет прогнозных ресурсов P_2 выполняется путем умножения объема рудной массы на содержания полезных компонентов, определяемые по аналогии с эталонными объектами данной рудной формации с учетом результатов опробования, ядерно-геофизических и других методов каротажа, а также данных геоэлектрохимических исследований.

Примером иного подхода к оценке прогнозных ресурсов по результатам количественной интерпретации геофизических аномалий, создаваемых рудными телами, является разработанная А. К. Вейнбергом методика расчета запасов железных (магнетитовых) руд по данным магниторазведки, опробованная на многочисленных погребенных месторождениях магнетитовой скарновой формации и месторождениях магнетитовых кварцитов (10). Расчетная формула имеет вид:

$$P_{Fe} = 0,125 \times H \times B \times L \times Z \times (1 + 0,09 \times Z),$$

где P_{Fe} — количество магнитообогатимого железа (в млн т);
 Z — амплитуда аномалий (в тыс. нТл);
 H — глубина верхней кромки возмущающего объекта;
 B и L — ширина и длина магнитной аномалии по изолинии полуамплитудного значения (в сотнях метров).

В подавляющем большинстве случаев погрешность оценки прогнозных ресурсов не выходит за пределы значений $0,8 \times P_{Fe} - 1,25 \times P_{Fe}$.

Возможности использования геофизических методов при оценке прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений с контрастными по физическим свойствам рудопродуктивными гидротермалитами можно показать на примере технологии, разработанной Г. Б. Романовским для оценки прогнозных ресурсов погребенных месторождений молибден-медно-порфировой формации [152]. Оценка прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений производится по формуле Н. А. Быхова [90]:

$$Q_x = K \times S_x \times H_x \times C_m,$$

где Q_x — прогнозные ресурсы полезного компонента (в тоннах);

S_x — площадь распространения гидротермально-метасоматических образований на поверхности погребенного фундамента (m^2), установленная по комплексу геолого-геофизических данных;

H_x — предполагаемая глубина распространения оруденения (м) определяется методом аналогии с учетом глубины распространения гидротермально-метасоматических образований и уровня эрозионного среза, оцениваемого по результатам изучения гидротермально-метасоматической и геохимической зональности);

$$C_m = K_1 \times C_0,$$

где C_m —объемная продуктивность гидротермально-метасоматических образований для эталонных объектов (в тоннах компонента на $1 m^3$ рудопродуктивных метасоматитов);

K_1 — коэффициент, учитывающий интенсивность гидротермально-метасоматических изменений, особенности их состава и другие параметры, по которым степень аналогии изучаемого объекта с эталонными может быть неполной, ($K_1 < 1$);

K_1 — коэффициент надежности прогноза.

Рудопродуктивными гидротермалитами для месторождений этой формации являются березиты. Наиболее информативными методами изучения рудопродуктивных березитов являются электроразведка ВП, магниторазведка и гравиразведка. С помощью этих методов достаточно просто оконтуриваются поля распространения околорудных гидротермально-метасоматических образований и их фации на поверхности фундамента. Значительно сложнее определить вертикальную мощность гидротермально-рудной системы, без чего невозможно использовать для подсчета прогнозных ресурсов приведенную

выше формулу Н. А. Быхова. Приближенную оценку можно получить по данным метода ВЭЗ ВП и несколько более точную по результатам количественной интерпретации данных магниторазведки.

На рис. 7.1, 7.2, 7.3 показаны вычисленные на ЭВМ зависимости параметров магнитных аномалий над зоной березитов, аппроксимированной вертикальным эллиптическим цилиндром с осями 1000 и 500 м, от ее вертикальной мощности H при различных мощностях покровных отложений. Разница магнитной восприимчивости между березитами и вмещающими породами при расчетах принималась равной 100×10^{-5} , 400×10^{-5} и 1000×10^{-5} ед. СИ. Зависимости параметров магнитного поля от вертикальной мощности березитов приведены для случая, когда эти различия равны 400×10^{-5} ед. СИ, что позволяет рассматривать достаточно типичную, но не самую благоприятную ситуацию.

Случаи, когда разница магнитной восприимчивости окколорудных гидротермалитов и вмещающих пород составляет 100×10^{-5} ед. СИ для месторождений молибден-медно-порфировой формации сравнительно редки и могут рассматриваться как предельные. Чаще всего они относятся к малопродуктивным объектам.

Из анализа приведенных зависимостей видно, что надежная оценка H при заданных условиях возможна при мощностях покровных отложений до 100 м, а при более высоких их мощностях данные магниторазведки позволяют оценить лишь минимально и максимально возможную глубину нижней кромки березитов.

Для увеличения достоверности оценки вертикальной мощности гидротермально-рудной системы необходимо применять высокоинформативные комплексы геофизических методов, модификации методов с повышенной точностью наблюдений, привлекать данные о гидротермально-метасоматической и геохимической зональности. В ряде случаев сведения о возможной вертикальной мощности гидротермально-рудной системы, об элементах залегания тел рудопродуктивных гидротермалитов и их форме можно получить, основываясь на данных о рудовмещающих геологических телах. Например, в случае месторождений шеелитовой скарновой формации такими телами являются литологически благоприятные горизонты карбонатных или переслаивающихся карбонатных и алюмосиликатных пород.

При оценке прогнозных ресурсов рудных полей и месторождений без контрастных по физическим свойствам рудных тел и рудопродуктивных гидротермально-метасоматических образований площадного распространения (рудные поля и месторождения касситерит- и вольфрамит-кварцевой, редкометалльной пегматитовой, золото-кварцевой формации и др.) существенно возрастает роль геохимических данных. Наиболее информативны данные опробования коренных пород. В случае, если оруденение погребенное или погребенно-слепое, это опробование производится с применением бурения с гидротранспортом керна. При отсутствии или недостаточности данных по опробованию коренных пород проводятся профильные геохимические работы в пределах перспективных площадей и участков — изучение вторичных ореолов (атмо-, гидро-, био-геохимическим, наложенным ореолам в почве и подпочвенном слое), метод частичного извлечения металлов — ЧИМ.

При оценке прогнозных ресурсов погребенных рудных полей и месторождений в наиболее общем случае целесообразно применение следующей операционной схемы:

1) оконтуривание по геофизическим данным с учетом результатов буровых работ рудовмещающих геологических тел и структур;

2) оконтуривание геохимического ореола;

3) совмещение результатов операций 1 и 2 и оконтуривание собственно рудоносной части площади рудного поля или месторождения;

4) подсчет прогнозных ресурсов по формуле Н. А. Быховера:

$$Q_x = K \times S_x \times H_x \times C_m \times D,$$

где Q_x — прогнозные ресурсы компонента (в тоннах);

S_x — рудоносная площадь (по результатам операции 3) на поверхности погребенного фундамента (в случае рудоконтролирующих структурных элементов линейного характера $S_x = L_x \times L_y$, где L_x — длина продуктивной части рудоконтролирующего структурного элемента, L_y — предполагаемая ширина рудоносной зоны);

H_x — предполагаемая глубина распространения оруденения (определяется с учетом формационного типа прогнозируемого объекта и глубины эрозионного среза, оцениваемой по геохимическим данным, а в благоприятных случаях — с учетом параметров рудовмещающих геологических тел);

C_m — удельная продуктивность (в тоннах компонента на тонну продуктивных образований) оценивается: а) на основании аналогии с выбранными эталонными месторождениями данного формационного типа с поправками, учитывающими результаты опробования поисковых скважин (или результаты каротажных исследований ядерно-физическими методами); б) по результатам изучения на геохимических профилях линейной продуктивности остаточного вторичного ореола в коре выветривания или продуктивности первичного ореола;

D — средняя плотность пород;

K — коэффициент надежности прогноза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических рекомендациях рассмотрены задачи и методические принципы проведения ГМК-500 и ГМК-200, геологические обстановки проведения ГМК, методы картографирования минерагенических факторов и поисковых признаков, изучения закономерностей размещения полезных ископаемых, выделения и оконтуривания потенциальных рудных районов, зон, узлов и полей, оценки их прогнозных ресурсов. Рассмотрены вопросы разработки и применения прогнозно-поисковых моделей и компьютерных методов при проведении всего цикла прогнозно-минерагенических исследований, а также особенности методов прогнозирования рудных объектов, невыходящих на поверхность.

Основные области применения ГМК — прогнозирование новых рудных районов, узлов, полей стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов минерального сырья, а также прогнозирование новых рудных полей и месторождений минерального сырья в действующих рудных районах с истощенной минерально-сырьевой базой.

Приведенные особенности геолого-минерагенического картирования определяют его роль как важнейшего вида региональных работ, непосредственно ориентированного на расширение минерально-сырьевой базы в отношении полезных ископаемых, наиболее важных для страны в целом и для отдельных регионов.

В качестве главных методических проблем ГМК, от которых зависит достижение его высокой результативности, рассматриваются:

— комплексность и полнота изучения минерагенических факторов и поисковых признаков, оптимальность применяемой технологии их картографирования (она должна обеспечивать надежное их прослеживание на поверхности, под покровом рыхлых отложений, и ниже уровня эрозионного среза

рудовмещающего породного комплекса при минимально возможных затратах средств, труда и времени, с учетом конкретных особенностей объектов прогнозирования и условий изучаемой площади, степени ее изученности предшественниками);

— полнота и достоверность изучения закономерностей размещения полезных ископаемых прогнозируемого типа, обеспечивающая возможность формирования надежных многопараметрических критериев их прогнозирования, в том числе критериев прогнозирования объектов, не выходящих на поверхность;

— полнота, глубинность и достоверность прогнозных построений при выделении перспективных площадей;

— обоснованность и достоверность оценки прогнозных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэрокосмические методы геологических исследований.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 316 с.
2. *Белевцев Я. Н.* Метаморфогенные месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений.— М.: Недра, 1972. С. 38–49.
3. *Беневольский Б. И., Блинова Е. В., Бражник А. В.* и др. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. Золото / Отв. ред. Б. И. Беневольский.— М.: ЦНИГРИ, 2002. 182 с.
4. *Берк К., Дьюи Дж., Кидд У. С. Ф.* Господство горизонтальных движений, островодужных и микроконтинентальных столкновений в течение пермобильного этапа // Ранняя история Земли.— М.: Мир, 1980. С. 123–143.
5. *Беспалов Е. В., Михайлов И. В., Цаплин А. Е.* О вольфрамоносности девонских отложений северо-запада Среднего Тимана // Изв. Вузов. Геология и разведка, 1984, № 5. С. 114–115.
6. *Борукаев Ч. Б.* Структура докембрия и тектоника плит.— Новосибирск: Наука, 1985. 190 с.
7. *Бродский А. И.* Физическая химия. Т. I, II.— М.: Госхимиздат, 1948.
8. *Буслович А. Л.* О мезозойской тектонической активизации севера Московской синеклизы // Геология и минер. ресурсы Вологодской области.— Вологда: Русь. С. 74–77.
9. *Быховер Н. А.* Количественная оценка прогнозных запасов твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр, 1972, № 10. С. 16–21.
10. *Вейнберг А. К.* Приближенный способ оценки запасов магнетита в железорудных месторождениях по данным магниторазведки // Вопросы разведочной геофизики, вып. 6, 1967. С. 3–13.
11. *Веричев Е. М.* и др. Новый тип алмазоносных кимберлитов Зимнего Берега (Архангельская алмазоносная провинция) // Докл. РАН, 1999. Т. 368, № 2. С. 226–229.
12. *Витовская И. В., Никитина А. П.* Минералого-геохимические особенности образования кор выветривания // Мат-лы семинара по геохимии гипергенеза и кор выветривания на разных породах.— Минск, 1969. С. 59–69.
13. *Вишневецкий А. Н.* Металлогения Анабарского щита // Прогнозирование и оценка никеленосности новых рудных районов на севере Сибирской платформы.— Л., 1983.

14. *Войткевич Г. В., Лебедько Г. И.* Полезные ископаемые и металлогения докембрия.— М.: Недра, 1975. 211 с.

15. Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. Приказ МПР от 07.02.2002 г., № 126.

16. Временные методические рекомендации по геолого-промышленной оценке промышленного значения месторождений твердых полезных ископаемых.— М.: ВИЭМС, 1998.

17. Временные методические рекомендации по составлению серийных легенд к мелко-среднемасштабным прогнозно-металлогеническим картам, специализированным на цветные и благородные металлы.— М.: ЦНИГРИ, 2001.

18. Временные положения проведения геологического доизучения ранее заснятых площадей масштаба 1 : 200 000 и подготовка к изданию комплекта Государственной геологической карты СССР масштаба 1 : 200 000 (новая серия) / А. И. Бурдэ, В. В. Старченко, В. М. Питулько — Л., 1991. 39 с.

19. Временные требования к организации, проведению и конечным результатам геологосъемочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты-200 (Изд. 2-е) / Е. А. Гаврюшова, В. В. Дашевский, Г. И. Давидан и др.— М.: МПР РФ, 1999. 160 с.

20. Геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем.— Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. 157 с.

21. Геологическая съемка метаморфических и метасоматических комплексов. Методическое пособие / Ш. К. Балтыбаев, Б. А. Блюман, С. А. Бушмин и др.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1996. 416 с.

22. Геологические карты Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления масштаба 1 : 2 500 000 в границах бывшего СССР (дозейфельские и домезозойские образования). Объяснительная записка / Ред. В. П. Кириков. — СПб., 1992. 116 с.

23. Геологические формации осадочного чехла Русской платформы // Тр. ВСЕГЕИ, н. с., т. 296 / Ред. Н.С. Иголкина.— Л.: Недра, 1981. 168 с.

24. Геология и полезные ископаемые России. Т. 1. Запад России.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 528 с.

25. Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. Западная Сибирь.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

26. Геология и полезные ископаемые России. Т. 3. Восточная Сибирь.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. 396 с.

27. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых (методические рекомендации).— М.: ВИЭМС, 1986.

28. Гернгардт Н. Э. Лейкоксен — новый вид комплексного сырья.— М.: Наука, 1960. 75 с.

29. Гинзбург И. И. Типы древних кор выветривания, формы их проявления и классификация // Кора выветривания, вып. 6.— М., 1963. С. 70—101.

30. ГИС «Парк» глазами геолога // Бюллетень ГИС-ассоциации, 11.10.1977.

31. Глубинная модель габбро-монциодиорит-сиеногранитовой формации / В. Л. Хомичев, С. С. Долгушин, О. Г. Сакур и др. — Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. 110 с.
32. Глубинное геологическое картирование / П. А. Литвин, М. Б. Рыбаков, М. Л. Сахновский и др. — Л.: Недра, 1981. 280 с.
33. *Головенко В. К.* Высокоглиноземистые формации докембрия. — Л.: Недра, 1977. 267 с.
34. ГОСТ 7.63-90. Отчет о геологическом изучении недр. Общие требования к содержанию и оформлению. — М.: Госстандарт СССР, 1992.
35. Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Дальневосточная серия. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист N-53 (Шантарские острова). Объяснительная записка. — СПб., 2000. 380 с.
36. Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых. Серия «Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям...» — выпуски по конкретным видам минерального сырья.
37. *Гринсон А. С.* Формирование и размещение кимберлитов восточной части Сибирской платформы в связи с особенностями ее глубинного строения // Изв. АН СССР. Сер. Геол., № 3, 1984. с. 54–65.
38. *Грушевой Г. В., Оношко И. С., Наумов И. С.* Прогнозная оценка ураноносности чехла Русской платформы // Разведка и охрана недр, 1996, № 3. С. 11–20.
39. *Долгушин С. С., Хомичев В. Л.* Псевдоконгломераты: природа, диагностика, рудно-петрологическая значимость. — Новосибирск, 2007. 92 с.
40. Дополнение к методическим рекомендациям по составлению серийных легенд к ГКК-200/2 — минерагенический блок информации к СЛ-200/2 / В. В. Старченко, И. М. Мигович. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. 8 с.
41. *Евсеева Л. С., Перельман А. И.* Геохимия урана в зоне гипергенеза. — М.: Атомиздат, 1962. 239 с.
42. *Ерацев-Шак В. А.* Гидротермальный субповерхностный литогенез Курило-Камчатского региона. Тр. ГИН. Вып. 476. — М.: Наука, 1992. 132 с.
43. *Жданов В. В.* Метасоматиты, опыт изучения и картирования. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 56 с.
44. *Занин Ю. Н., Замирайлова А. Г.* Уран в гипергенных фосфоритах // Геохимия, 2007, № 1. с. 38–53.
45. *Иванкин П. Ф., Назарова Н. И.* Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. — М.: Недра, 1988. 254 с.
46. Изучение объемного строения эндогенных рудных районов при геологосъемочных работах. Методическое пособие по объемному геологическому картированию / А. А. Духовский, Н. А. Артамонова, А. В. Булычев и др. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 327 с.
47. Изучение сквозных рудоконцентрирующих структур в прогнозных целях. (Методические рекомендации) / Гл. ред. Н. В. Межеловский. — М., 1989. 63 с.
48. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983. 191 с.

49. Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной карты СССР масштаба 1:50 000 (1:25 000). — Л., 1986. — 243 с.

50. Инструкция по отбору, документации, обработке, хранению, сокращению и ликвидации керна скважин колонкового бурения. — М.: Геоинформмарк, 1994. 32 с.

51. Инструкция по применению классификации запасов месторождений, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов. — М., 1984, 64 с.

52. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 / Коллектив авторов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.

53. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 / Коллектив авторов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2003.

54. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 / Сост.: А. И. Бурдэ, Ю. С. Маймин, В. В. Старченко и др. — М., 1995. 244 с.

55. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 / С. И. Стрельников, А. И. Бурдэ, С. В. Егоров и др. — СПб.: Изд-во СПб. КФ ВСЕГЕИ, 1999. 202 с.

56. *Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Прудников С. Г.* Золотоносные коры выветривания юга Сибири. РАН СО. — Новосибирск: Гео, 2006. 338 с.

57. *Калюжный В. А.* Геология новых россыпеобразующих метаморфических формаций. — М.: Наука, 1982. 262 с.

58. Камеральная обработка материалов геологосъемочных работ масштаба 1:200 000. Вып. 2: Методические рекомендации / А.И. Бурдэ, В. С. Антипов, В. И. Бергер и др. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 384 с.

59. Карта рудоносных формаций и рудных зон Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка / Ред. Ю. Г. Старицкий. — СПб., 2000.

60. Картирование и прогнозная оценка рудоконтролирующих зон региональных и локальных гидротермалитов, перекрытых рыхлыми отложениями / М. Л. Сахновский, Г. Б. Романовский, П. А. Литвин // Современные технологии регионального геологического и прогнозно-металлогенического изучения территорий, разрабатываемые во ВСЕГЕИ. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. с. 4–6.

61. *Кириков В. П., Кочин Г. Г., Якобсон К. Э.* Тектоника и металлогения чехла Русской платформы // Тектонические основы прогнозно-металлогенических исследований. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1992. С. 70–83.

62. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. — М.: ГКЗ, 1997.

63. *Клемин В. П., Петров Ю. Н., Чернова И. И.* Объемное картирование рудоносных структур геофизическими методами // Разведка и охрана недр, 1977, № 5. С. 41–43.

64. *Козловский Е. А.* Комплексная программа глубинного изучения земных недр // Советская геология, 1982, № 9.
65. *Колокольцев В. Г.* Блочные метасоматиты в осадочных толщах и их диагностика.— СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 96 с.
66. *Колокольцев В. Г.* Модель бокситообразования в платформенных областях// Советская геология, 1986, № 7. С. 34–44.
67. *Колокольцев В. Г.* Текстура *соpe-in-соpe* и ее происхождение // Литология и полезные ископаемые, 2002, № 6. С. 612–627.
68. Комплексирование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика.— М.: Недра, 1984. 385 с.
69. Компьютерный прогноз.— М.: Недра, 1990.
70. *Конди К.* Архейские зеленокаменные пояса.— М.: Мир, 1983. 390 с.
71. Контроль оценок прогнозных ресурсов рудоносных объектов. Методические рекомендации.— Л., 1990. 104 с.
72. *Коробков И. Г., Вафин Т. Р.* Структуры кимберлитовых полей как фактор локального прогноза коренной алмазности // Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин Севера Пацифики: Мат-лы Всерос. совещ., посв. 90-летию академика Н. А. Шило, Магадан, 3–6 июня 2003 г. Т. 3. Региональная металлогения Северо-Восточной Азии, вопросы специальной металлогении золота и серебра, геология и методы оценки рудных месторождений и кор выветривания.— Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН. 2003. с. 213–215.
73. *Коробков И. Г., Вафин Т. Р., Бессмертный С. Р.* Структурно-тектонические факторы кимберлитности Моркокинского алмазного района (Западная Якутия) // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50): Мат-лы Науч.-практич. конф., посвящ. 50-летию открытия алмазносной кимберлитовой трубки «Зарница». С.-Петербург, 25–27 мая 2004 г.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. С. 178–180.
74. *Котляр В. Н.* Основы теории рудообразования.— М.: Недра, 1970. 464 с.
75. *Кочетков О. С.* Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина.— Л.: Наука, 1967. 118 с.
76. *Красных В. В.* Возможности выявления месторождений урана палеодолинного типа на юге Русской платформы // Разведка и охрана недр, 1996, № 3. С. 20–24.
77. *Кременецкий А. А., Покатаев Д. Д., Менчинская О. В.* ГЕОПОЛЕ — программный продукт-оболочка для комплексной обработки координатно-привязанной информации // Прикладная геохимия. Вып. 5. Компьютерные технологии.— М.: ИМГРЭ, 2004. С. 114–122.
78. *Кривцов А. И.* Прикладная металлогения.— М.: Недра, 1989.
79. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д. В. Рундквиста.— Л.: Недра, 1986. 751 с.
80. *Кудрявцев В. Е., Шор Г. М.* Пути совершенствования прогноза месторождений урана.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 84 с.
81. *Кутырев Э. И., Михайлов Б. М., Ляхницкий Ю. С.* Карстовые месторождения.— Л.: Недра, 1989. 311 с.

82. Лисичкин В. А. Теория и практика прогностики. — М.: Наука, 1972.
83. Литогеодинамика и минерагения осадочных бассейнов / А. Д. Щеглов, ред. Н. С. Малич. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 480 с.
84. Локерман А. А. Россыпные месторождения золота. (Из истории одного открытия). — М.: Знание, 1977. 48 с.
85. Малич Н. С. Тектоническое развитие чехла Сибирской платформы. — М.: Недра, 1975. 218 с.
86. Малич Н. С., Гринсон А. С. и др. Сравнительный анализ геологического строения Русской и Сибирской платформ и новые критерии прогнозной оценки их минерально-сырьевых ресурсов. Методические рекомендации. — СПб., 1996. 44 с.
87. Малич Н. С., Туганова Е. В. Металлогения Сибирской платформы. Т. 1. — Новосибирск, 1987. С. 25–31.
88. Малич Н. С., Туганова Е. В. Принципы и методика минерагенического анализа платформ. — М.: Недра, 1980. 297 с.
89. Манилов Ф. И., Саксин Б. Г. Объемное геолого-геофизическое картирование (на примере Буреинского и Ханкайского срединных массивов). — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 130 с.
90. Масайтис В. Л., Михайлов М. В., Селивановская Т. В. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилойского авлакогена. Тр. ВСЕГЕИ. Т. 192. — М.: Недра, 1975. 183 с.
91. Маслов В. К. Роль флюидного (грязевого) вулканизма в формировании раннеюрских отложений и полезных ископаемых // Геология и геофизика. 1995, т. 36, № 7. С. 42–52.
92. Машковец Г. А., Коченов А. В., Халдей А. Е. О гидротермально-осадочном образовании стратиформных урановых месторождений в фанерозойских депрессионных структурах // Редкометалльно-урановые рудообразования в осадочных породах. — М., 1995. С. 37–51.
93. Медно-колчеданные месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / А. И. Кривцов, О. В. Минина, А. Г. Волчков и др. Под. ред. А. И. Кривцова. — М.: ЦНИГРИ. 282 с.
94. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия. — М., 1999, 329 с.
95. Методика общих поисков при ГСР-50. (Мингео СССР. ЦНИГРИ). — М., 1991. 259 с.
96. Методика геолого-экономической оценки (переоценки) запасов месторождений твердых полезных ископаемых по укрупненным технико-экономическим показателям. — М.: ВИЭМС, 1998.
97. Методические основы составления прогнозно-металлогенических карт масштаба 1 : 200 000 рудных и потенциально рудных районов / Под ред. В.М. Терентьева. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
98. Методические рекомендации по геофизическому обеспечению геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000. — СПб.: МПР РФ, ВИРГ-Рудгеофизика, 2000. 240 с.
99. Методические рекомендации по комплексированию геофизических методов при крупномасштабных геологосъемочных работах и

поисках месторождений твердых полезных ископаемых. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1983. 180 с.

100. Методические рекомендации по проведению геолого-минералогического картирования масштабов 1 : 500 000—1 : 200 000 / М. Л. Сахновский, А. П. Бороздин, А. В. Довбня и др. // Известия ВСЕГЕИ, 2007, Т. 7 (55).— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. С. 18—25. (Электронное издание с номером Государственной регистрации 0320900496 от 1.04.2009 г.).

101. Методические рекомендации по сбору и компьютерной обработке геологической, геохимической и геофизической информации с целью выявления рудных узлов, полей и месторождений при целевом геохимическом картировании различных масштабов / Коллектив авторов.— М.: МГГА. 1995, 85 с.

102. Методические рекомендации по созданию цифровых моделей листов Госгеолкарты-200 в форматах ГИС ПАРК. Изд. НРС МПР РФ, 2000. 30 с.

103. Методические рекомендации по составлению геолого-экономических карт.— М.: ВИЭМС, 2001. (согласовано в МПР РФ 15.03.2001 г.).

104. Методические рекомендации по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение).— М.—СПб.: ФГУП «ВСЕГЕИ». 2005. 159 с. (Электронная версия).

105. Методические рекомендации по составлению карт районирования масштаба 1 : 500 000 по условиям применения геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых.— М., 1985. 32 с.

106. Методические рекомендации по составлению серийных легенд ГГК-200.— СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.

107. Методические рекомендации по составлению специализированных карт полезных ископаемых и закономерностей их размещения на основе прогнозно-поисковых моделей (цветные и благородные металлы).— М.: ЦНИГРИ, 2000.

108. Методические указания по оценке, апробации и учету прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых РФ.— М.: МПР РФ, 1997. 16 с.

109. Методические указания. Вып. 5 / П. Ф. Ли, В. С. Певзнер и др.— Л.: Недра, 1973.

110. Методическое пособие по совершенствованию и унификации серийных легенд.—СПб., 2003. 182 с. (Электронная версия).

111. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (выпуски I—XV).— Москва, 1986—1989.

112. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.— М.: Роскомнедра, ЦНИГРИ, 1992.

113. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. (Мингео СССР, ВСЕГЕИ). Изд. 2-е, переработанное. Ч. 1. Принципы и методы оценки. — М.—Л., 1989.

114. Методологические основы составления прогнозно-металлогенических карт масштаба 1 : 200 000 рудных и потенциально рудных районов. / К. А. Марков, М. Г. Харламов, Н. Н. Васильев и др.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 86 с.

115. *Михайлов Б. М.* Изучение и картирование зон гипергенеза. Методическое пособие по геологической съемке.— СПб.: Недра, 1995. 189 с.
116. *Михайлов Б. М.* Рудоносные коры выветривания.— Л.: Недра, 1986. 238 с.
117. *Михайлов Б. М., Горбачев Б. Ф., Харлашин А. П.* Прогнозная оценка зон гипергенеза на твердые полезные ископаемые при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 — 1 : 200 000. Методическое пособие.— СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 76 с.
118. Модели месторождений благородных и цветных металлов.— М.: ЦНИГРИ, 2000—2004.
119. *Николаев В. Г.* К проблеме унаследованности внутриконтинентальных рифтов (авлакоенов) // Современные проблемы геологии. Тр. ГИН РАН, вып. 565.— М.: Наука, 2004. С. 271—290.
120. *Нифантов Б. В., Потапов В. П., Митана Н. В.* Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях.— Кемерово: Весть, 2004. 126 с.
121. Объектное моделирование и технология автоматизированного построения серийных геологических легенд / Н. У. Карпузова, Б. П. Арсеньев, А. Ф. Карпузов, М. Н. Токарева, Д. Н. Степанов, Г. Л. Чочия.—М., 2001. 76 с.
122. Опыт составления прогнозно-минералогических карт на глубинной геодинамической и геолого-геофизической основе / В. А. Амантов, Б. А. Блюман, Д. М. Орлов и др.— СПб., 1998. 76 с.
123. Организация и содержание геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000. Вып. 1: Методические рекомендации / А. И. Бурдэ, В. С. Антипов, А. С. Барышев, и др.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. 136 с.
124. Основные положения организации и производства геолого-минералогического картирования масштаба 1 : 200 000. Мингео СССР.— М.: «Аэрогеология», 1986. 27 с.
125. Основные положения по составлению серийных легенд Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения и требования к их содержанию и оформлению.— СПб., 2001.
126. Основы металлогенического анализа при геологическом картировании. Металлогения геодинамических обстановок.— М., 1995. 468 с.
127. Основы научного прогноза месторождений твердых полезных ископаемых. Вып. VI. Месторождения бокситов.— М., 1971. 79 с.
128. ОСТ 41.14.275-87. Отчет о геологическом изучении недр. Геолого-минералогическое картирование масштаба 1 : 200 000. 1988.
129. *Павловский Е. В.* О специфике стиля тектонического развития земной коры в раннем докембрии // Тр. Вост.-Сиб. ин-та СО АН СССР, вып. 5, 1962. С. 77—108.
130. *Певзнер В. С.* Изучение кор выветривания при крупномасштабной геологической съемке.— Л.: Недра, 1974. 24 с.
131. *Певзнер В. С.* Карта геохимической специализации структурно-формационных комплексов России масштаба 1 : 5 000 000. Объяснительная записка.— М., 1997. 52 с.

132. Певзнер В. С., Бурков Ю. К. Система обработки геохимической информации с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. — Л.: Недра, 1976. 20 с.
133. Пельмский Г. А. Роль седиментогенеза и геодинамических напряжений (сжатие—растяжение) в развитии вольфрамового оруденения в истории Земли // Геология. Ч. 1 (программа «Университеты России»). — М.: МГУ, 1993. С. 199—206.
134. Перспективы развития универсальных российских ГИС. PC Week, 28, 2002.
135. Песков Е. Г. Геологические проявления холодной дегазации Земли. — Магадан, 2000. 279 с.
136. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования / В. В. Жданов, Б. А. Марковский, В. Л. Масайтис и др. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. 128 с.
137. Площев Е. В., Билибина Т. В., Смыслов А. А. Комплексное объемное моделирование урановорудных узлов и районов // Мат-лы по геологии урановых месторождений. Вып. 79. — М., 1982. С. 7—25.
138. Площев Е. В., Шатов В. В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. — Л.: Недра, 1985. 247 с.
139. Площев Е. В., Шатов В. В., Беляев Г. М. Методические рекомендации по геолого-геохимическому изучению гидротермально-метасоматических образований при ГСР-50. — СПб., 1992. 64 с.
140. Полевые исследования при геологосъемочных работах масштаба 1:200 000. Методические рекомендации. Вып. 3 / Авт.: В. С. Антипов, В. И. Бергер, А. И. Бурдэ и др. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 112 с.
141. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). — М.: МПР, 1999. 28 с.
142. Попов В. Е., Терентьев В. М., Туганова Е. В. Главнейшие формационные типы медно-никелевых месторождений и закономерности их размещения // Геология медно-никелевых месторождений СССР. — Л.: Наука, 1990.
143. Попов В. С. Новая геохимическая модель формирования континентальной литосферы Земли // Изв. Вузов. Геология и разведка, 1993, № 1. С. 3—9.
144. Поспелов Г. Л. Некоторые вопросы флюидогенного структурирования горной массы на молекулярном и субмолекулярном уровнях // Физическое и физико-химическое развитие магматогенных и рудных систем. — М., 1972.
145. Поспелов Г. Л. О природе границ метасоматических тел и роли гидротермального промачивания при их образовании // Физико-химические проблемы образования горных пород и руд. Т. 2. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
146. Поспелов Г. Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. — Новосибирск: Наука, 1973. 355 с.
147. Признаки золотоносности осадочного чехла центральной части Русской платформы / В. П. Филиппов, Е. В. Матвеева и др. // Отечественная геология, 2005, № 6. С. 42—47.

148. Принципы и методы прогноза скрытых месторождений меди, никеля и кобальта / М. Б. Бородаевская, А. И. Кривцов, А. П. Лихачев и др.— М.: Недра, 1987. 246 с.

149. Прогнозирование не выходящего на поверхность оруденения при глубинном геологическом картировании и геологическом доизучении площадей / М. Л. Сахновский, П. А. Литвин, Б. М. Михайлов.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 273 с.

150. Прогнозирование рудоносных площадей / Г. М. Мейтув, Т. А. Иванова, В. В. Иванов и др.— М.: Наука, 1976.

151. Прогнозная оценка зон гипергенеза на твердые полезные ископаемые при геологической съемке масштабов 1:50 000–1:200 000. Методическое пособие / Б. М. Михайлов, Б. Ф. Горбачев, А. П. Харлашин и др.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 76 с.

152. Прогнозно-металлогенические исследования при глубинном геологическом картировании / М. Л. Сахновский, П. А. Литвин, Б. М. Михайлов — Л.: 1988. 312 с.

153. Прогнозно-металлогенические исследования при региональных геологосъемочных работах / Н. В. Кочкин, Е. В. Альперович, О. П. Апольский и др. — Л.: Недра, 1985. 280 с.

154. Разработка технологии локализации перспективных площадей на различные виды полезных ископаемых на основе интерпретации комплекса геолого-геофизических материалов. Известия ВСЕГЕИ. 2005 г. Том 5 (53).— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. С. 174–187.

155. Редкоземельный потенциал Минусинского бассейна / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, Л. П. Рихванов и др.— Новосибирск: Гео, 2003. 347 с.

156. Рекомендации по содержанию, оформлению и порядку представления на Государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых.— М.: ГКЗ, 1998.

157. Решение задач прогноза полезных ископаемых с применением ГИС INTEGR0 / Е. Н. Черемисина, М. Я. Финкельштейн, О. В. Митракова и др.— М.: ВНИИгеосистем., 2001. 110 с.

158. Российский металлогенический словарь.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. 320 с.

159. Рудные формации меди и благородных металлов фанерозоя Восточно-Европейской платформы / В. Г. Чайкин и др. Геология рудных месторождений, 2004, т. 46, № 6. с. 552–561.

160. Рудоносность и геологические формации структур земной коры / К. А. Марков, В. А. Трофимов, Ю. Г. Старицкий и др. // Под ред. Д. В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1981. 423 с.

161. Рудоносные формации зоны гипергенеза / Ред. А. Д. Щеглов.— Л., 1990. 96 с.

162. *Рундквист Д. В.* (ред.). Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые.— Л.: Недра, 1986. 751 с.

163. *Рундквист Д. В.* Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология рудных месторождений, 1993, № 6, с. 467–480.

164. Рундквист Д. В., Дагелайский В. Б., Хильцова В. Я. Зональность и эволюционные ряды рудоносных структур докембрия // Геология рудных месторождений, 1994, № 5. С. 387–399.

165. Рундквист Д. В., Неженский И. А. Зональность эндогенных рудных месторождений.— Л.: Недра, 1975. 224 с.

166. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Донец А. И. и др. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Свинец и цинк» / Отв. ред. Г. В. Ручкин. — М.: ЦНИГРИ, 2002. 169 с.

167. Рыжов Б. В. Тектогенез как фактор россыпеобразования. VIII совещание по геологии россыпей.— Киев, 1987. С. 3–5.

168. Салтыков О. Г., Эринчек Ю. М. Позднепалеозойские россыпи локальных металоамплитудных поднятий в зоне сочленения Тунгусской синеклизы и Непско-Батуобинской антеклизы. VIII совещание по геологии россыпей.— Киев, 1987. С. 300–302.

169. Салтыков О. Г., Эринчек Ю. М. Позднепалеозойские россыпи локальных металоамплитудных поднятий в зоне сочленения Тунгусской синеклизы и Непско-Батуобинской антеклизы. VIII совещание по геологии россыпей.— Киев, 1987. С. 300–302.

170. Салтыков О. Г., Эринчек Ю. М., Устинов В. Н. Позднепалеозойские терригенные коллекторы алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы.— СПб.: ВСЕГЕИ, 1991. 223 с.

171. Сахновский М. Л., Литвин П. А., Мазина Е. А. Прогнозирование и поиски эндогенных месторождений при глубинном геологическом картировании. Методические рекомендации.— Л., 1980. 44 с.

172. Сахновский М. Л., Мазина Е. А., Ногинова И. А. Методы оценки запасов на закрытых площадях при среднемасштабном прогнозировании // Количественная оценка прогнозных запасов и перспективных ресурсов минерального сырья при региональных металлогенических исследованиях.— Л., 1978. С. 23–25.

173. Сахновский М. Л., Романовский Г. Б., Литвин П. А. Картирование и прогнозная оценка рудоконтролирующих зон региональных и локальных гидротермалитов, перекрытых рыхлыми отложениями // Современные технологии регионального геологического и прогнозно-металлогенического изучения территорий, разрабатываемые во ВСЕГЕИ (Роскомнедра, РАН, ВСЕГЕИ).— СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. С. 4–6.

174. Сахновский М. Л., Цубин В. Э., Еришов О. Б. Прогноз скрытого (погребенного) оруденения на основе комплексного моделирования рудных объектов // Прикладная геохимия. Вып. 5. Компьютерные технологии.— М.: ИМГРЭ, 2004. С. 57–68.

175. Середин В. В., Добровольская М. Г., Мохов А. В. Уникальное поликомпонентное оруденение в брекчиевых телах на территории Павловского буроугольного месторождения // ДАН, 2007, т. 412, № 3. С. 391–395.

176. Серия «Методические пособия по геологической съемке масштаба 1:50 000». Вып. 1–14.— Л.: Недра, 1981–1987.

177. Серия «Методические указания по применению рационального комплекса геолого-геохимических и геофизических методов при поисках и оценке месторождений минерального сырья». Выпуски по видам металлических и неметаллических полезных ископаемых. — М.: Мингео СССР, ВИМС. 1987–1989.

178. Серия «Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (1986–1988 гг.)».

179. Серия: Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (1986–1988 гг.)» Вып. I. Принципы и методы оценки прогнозных ресурсов (ВИЭМС, ВИМС, ВНИИгеолнеруд, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ЦНИГРИ); Вып. II. Оценка прогнозных ресурсов при региональном геологическом изучении территории СССР (ВСЕГЕИ); Вып. III. Оценка прогнозных ресурсов при геологосъемочных работах масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками (ВСЕГЕИ); Вып. VIII. Оценка прогнозных ресурсов ртути и сурьмы (ВСЕГЕИ, ВИЭМС, ИМГРЭ); Вып. XII. Оценка прогнозных ресурсов тантала, ниобия, бериллия (ИМГРЭ, ВСЕГЕИ).

180. Серия «Прогнозно-поисковые комплексы (комплексирование работ по прогнозу и поискам месторождений). Методические рекомендации». Вып. I–XXIII — по видам минерального сырья. — М.: Мингео СССР, ЦНИГРИ. 1984–1988.

181. *Серокуров Ю. Н.* Возможности космических съемок при прогнозе и поисках уранового оруденения // Геология и разведка, 1993, № 1. С. 104–109.

182. *Серокуров Ю. Н.* Использование космических снимков для целей прогнозирования рудоносности территорий // Советская геология, 1991, № 10. С. 22–27.

183. *Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зувев В. М.* Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. — М.: Недра-Бизнесцентр. 2001. 198 с.

184. *Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Макаров Д. В.* Рудоносный потенциал Анабарского щита по материалам дистанционного зондирования // Руды и металлы, 2002, № 2. С. 7–14.

185. *Серокуров Ю. Н., Смирнова Л. С., Калмыков В. Д.* Оценка проявленности площадей с урановыми месторождениями типа «несогласия» в материалах космических съёмок // Геология и разведка, 1991, № 8.

186. *Сизых В. И.* Шарьяжно-надвиговая тектоника // Природа, 2006, № 12. С. 20–30.

187. *Синицын А. В.* Региональная тектоника и металлогения раннего докембрия. — Л.: Недра, 1990. 491 с.

188. *Синяков В. И.* Геолого-промышленные типы рудных месторождений. — СПб.: Недра, 1994. 248 с.

189. Создание Госгеолкарты-200 с применением компьютерных технологий. Методическое руководство. — М., 1999. 174 с.

190. *Соколов С. В.* Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ // Прикладная

геохимия. Вып. 5. Компьютерные технологии.— М.: ИМГРЭ, 2004. С. 5–44.

191. *Соколов С. В.* Прогнозная оценка россыпной платиноносности Анадырско-Корякского региона (методика и результаты).— Благовещенск, 1988. 57 с.

192. *Соколовский А. К., Федчук В. Я., Корсаков А. К.* Геодинамические обстановки формирования зеленокаменных поясов.— М.: МГГРУ, 2003, 186 с.

193. *Соколовский А. К., Федчук В. Я., Корсаков А. К.* Эволюция зеленокаменных поясов в раннем докембрии // Геология и разведка, 1994, № 6. С. 3–12.

194. Состояние и направления совершенствования серийных легенд к ГК-1000/3 / С. П. Шокальский, Т. Н. Корень, А. С. Вольский и др. Доклад на засед. Уч. Сов. ВСЕГЕИ 14.03.2007.

195. *Старицкий Ю. Г.* Карта рудоносных формаций и рудных зон чехла Восточно-Европейской платформы. Масштаб 1 : 2 500 000. Объяснительная записка.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 82 с.

196. *Старицкий Ю. Г.* Полезные ископаемые Европейской России.— СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 52 с.

197. *Старицкий Ю. Г., Кочкин Г. Б., Янова Е. О.* Закономерности пространственного распределения главных видов полезных ископаемых в чехле Русской платформы // Геология рудных месторождений, т. 38, № 1, 1996. с. 76–86.

198. Стратиформное оруденение Якутии / А. К. Иогансон, Э. И. Кутырев, А. В. Костин и др.— Якутск, 1988. 132 с.

199. *Сытра Б. Й.* Тектоника Карельского региона.— Л.: Наука, 1991.

200. *Тарни Дж., Далзил И., Де Вит М. Дж.* Комплекс краевого бассейна «рокас-вердес» в Южном Чили — модель образования архейских зеленокаменных поясов // Ранняя история Земли.— М.: Мир, 1980. С. 143–159.

201. *Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Никитин А. А.* Комплексирование геофизических методов.— М.: Недра, 1982, 295 с.

202. Технология автоматизированного построения серийных легенд и корреляционных схем /Н. У. Карпузова, Б. П. Арсеньев и др.— СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003.

203. *Толстов А. В., Граханов С. А.* Прогнозно-минерагеническая оценка Анабарского поднятия // Мат-лы Всеросс. съезда геологов. — СПб., 2000, том 2. (CD).

204. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых.— М., 2000.

205. Требования к общим поискам при геологосъемочных работах масштаба 1 : 50 000 и их качеству.— Л.: ВСЕГЕИ 1990. 32 с.

206. Требования к организации и проведению геолого-минерагенического картирования масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000. — М.—СПб.: Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ».2009. 45 с.

207. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1 : 200 000 / Коллектив авторов.— М.: ИМГРЭ, 2002. 93 с.

208. Требования к унифицированной документации геологических данных при ГСР-200.— СПб.: Роскомнедра. СпецИКЦ РГ, 1995. (Распространяется в электронной форме.)

209. *Туганова Е. В., Шергина Ю. П.* Изотопно-геохимические особенности пород интрузии Норильского типа // Недра Таймыра. Вып. 2.— Норильск, 1997. С. 114–122.

210. *Уотсон Дж.* Рудная минерализация в архейских провинциях // Ранняя история Земли.— М.: Мир, 1980. С. 443–454.

211. *Фараджев В. А., Афанасьева Н. С.* Комплект минерагенических карт.— М.: ГНПП «Аэрогеология», 1990.

212. *Федчук В. Я., Корсаков А. К., Соколовский А. К.* Изучение минерагенических ресурсов зеленокаменных поясов.— М.: ООО «ЦИТВП», 2006. 90 с.

213. *Федчук В. Я., Корсаков А. К., Соколовский А. К., Михайлов В. А.* Металлогенические особенности генетических типов зеленокаменных поясов.— М.: МГГРУ, 2003. 153 с.

214. *Феоктистов В. П.* Меденосность докембрийских отложений Угуйской зоны // Геология рудных месторождений, 1986, т. 28, № 1. С. 65–72.

215. *Ферсман А. Е.* Избранные труды. Т. III.— М.: Изд-во АН СССР, 1955. 797 с.

216. *Филоненко В. П.* Магнетитовое оруденение Таймыро-Илимпейского района // Геология рудных месторождений Красноярского края. Тр. СНИИГГиМС. Вып. 257. С. 3–19.

217. *Хаин В. Е.* Ранняя история Земли и глубинная геодинамика // Вестник МГУ, сер. геол., 1993, № 6. С. 50–54.

218. *Хаин В. Е., Божко Н. А.* Историческая геотектоника.— М.: Недра, 1988. 382 с.

219. *Хомичев В. Л.* Петрология и рудообразование. — Новосибирск: СНИИГГиМС, 2005. 315 с.

220. *Царев Д. И.* Метасоматоз и конвергенция в петрологии и рудогеогенезе.— М.: Наука, 1978. 308 с.

221. *Цыганов В. А.* Надежность геологопоисковых систем.— М.: Недра, 1994.

222. *Черемисина Е. Н.* и др. Блок обработки геофизических данных для решения прогнозных задач. Методическое пособие. Руководство пользователя // Тр. ВНИИгеосистем.— М., 2001. 113 с.

223. *Черемисина Е. Н.* и др. Методические рекомендации по решению задач прогноза полезных ископаемых с применением ГИС «INTEGRO». Методическое пособие // Тр. ВНИИгеосистем.— М., 2001. 36 с.

224. Экспертные системы «Генезис».— СПб.: Изд-во «Анатолия», 2006. 274 с.

225. *Якобсон К. Э., Казак А. П.* Эволюция геосистемы. Русская платформа — Урал // Региональная геология и металлогения, 2004, № 20. С. 64–72.

226. *Baumann L., Tischendorf G.*, The Metallogeny of Tin in the Erzgebirge, DDR. — IGCP-Symposium MAWAM, Karlovy Vary, 1974. Vol. 3.— Praha, 1976.

227. *Graton L. C.* Hydrothermal origin of the Rand gold deposit // *Econ. Geol.* Vol. 25. Supplement to № 3, 1930. 185 p.

228. *Kahma A.* The main metallogenic features of Finland, *Geol. Survey of Finland* // *Bull.* 265, *Geolog. Tukt.*, Otaniemi, 1973.

229. *Sakhnovsky M. L., Dzuong Duc Kiem, Nguen Kim Hoan.* Distribution pattern and factors controlling tin deposits in Vietnam. First conference on geology of Indochina. 5–7 Dec. 1986. Ho Chi Minh City. General department of geology of Vietnam, 1986. p. 86.

230. *Tvalchrelidse G. A.* Über die wichtigsten metallogenetischen Epochen der Erde. *Z. angew. Geol.*, 17.— Berlin, 1971. P. 292–299.

231. Witwatersrand Gold — 100 years / Ed. By E.S.A. Antrobus // *The geological society of South Africa*, 1986. 298 p.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
И ПРОВЕДЕНИЮ ГЕОЛОГО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ
МАСШТАБОВ 1:500 000 и 1:200 000**

Технический редактор *О. Е. Степурко*
Корректор *Е. А. Зотова*
Компьютерная верстка *О. Е. Степурко*

Заказ 80128030

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ)
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74.

Картографическая фабрика ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72
Тел. 321-81-21, факс 321-81-53