

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МПР России)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
(Роснедра)
Федеральное государственное унитарное предприятие
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
(ФГУП «ЦНИГРИ»)

БАЗОВЫЕ ДОКЛАДЫ
«ПРОГНОЗ, ПОИСКИ, ОЦЕНКА
РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ —
ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ»
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(4–6 апреля 2006 г., Москва, ЦНИГРИ)

Ответственный редактор
А.И.Кривцов

200347

В. Денис
27.06.06.

Москва
ЦНИГРИ
2006

ISBN 5-85657-055-3

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МПР России)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
(Роснедра)
Федеральное государственное унитарное предприятие
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
(ФГУП «ЦНИГРИ»)

БАЗОВЫЕ ДОКЛАДЫ
«ПРОГНОЗ, ПОИСКИ, ОЦЕНКА
РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ —
ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ»
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(4–6 апреля 2006 г., Москва, ЦНИГРИ)

Ответственный редактор
А.И.Кривцов

Москва
ЦНИГРИ
2006

УДК

Базовые доклады «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы». Научно-практическая конференция (4–6 апреля 2006 г., Москва, ЦНИГРИ). Отв. редактор: А.И.Кривцов. М.: ЦНИГРИ. 2006. 210 с.

В сборник включены 18 базовых докладов, представленных на конференции, которая была проведена с целью повышения эффективности реализации мероприятий по воспроизводству отечественной минерально-сырьевой базы, предусмотренных среднесрочными и долгосрочными минерально-сырьевыми программами МПР России и Роснедра на основе обобщения передового опыта проведения геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы России и приросту запасов, оптимизации и координации работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению федеральных геологоразведочных работ, разработки научно-методических основ создания альтернативных минерально-сырьевых баз за счет выявления месторождений новых и нетрадиционных типов, разработки и реализации инновационных технологий геологоразведочных работ.

Научно-техническое издание

Компьютерная верстка и оригинал-макет: *А.Н.Щендригин*

Сдано в набор 10.05.2006. Подписано в печать 09.06.2006
Уч. изд. л. 12,6. Тираж 200 экз. Цена договорная.

Полиграфическая база ЦНИГРИ
117545 Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1

ISBN 5-85657-055-3

© Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов
(ЦНИГРИ), 2006

СОДЕРЖАНИЕ

Решение научно-практической конференции «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы»	5
Вступительное слово. <i>Ледовских А.А.</i> (руководитель Федерального агентства по недропользованию).....	7
Основные результаты ГРР по воспроизводству МСБ твердых полезных ископаемых в 2005 г. и задачи на 2006 г. <i>Бавлов В.Н., Михайлов Б.К., Варта- нян С.С.</i>	9
Система прогноза и воспроизводства МСБ благородных и цветных металлов России — научное обоснование и реализация. <i>Беневольский Б.И., Варта- нян С.С., Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Михайлов Б.К.</i>	20
Актуальные проблемы развития прикладной металлогении. <i>Кривцов А.И.</i>	31
Металлоносность рудномагматических систем — прогнозы и их реализация. <i>Мигачев И.Ф.</i>	47
МСБ неметаллических полезных ископаемых — проблемы использования и воспроизводства. <i>Аксенов Е.М.</i>	58
Реализация системы моделей месторождений благородных и цветных металлов при проведении геологоразведочных работ на территории России. <i>Варта- нян С.С., Волчков А.Г.</i>	68
Опыт и основные результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ, изучаемых за счет средств Федерального бюджета. <i>Варта- нян С.С., Карпенко И.А., Пет- раш Н.Г., Карпухина М.В., Куликов Д.А., Черемисин А.А.</i>	76
Модели россыпных месторождений золота России. <i>Риндзюнская Н.М., Мат- веева Е.В., Набровенков О.С., Филиппов В.П.</i>	87
Технологии геологоразведочных работ на коренные месторождения алмазов. <i>Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А.</i>	104
Систематика золотоносных месторождений и формаций — комплексная мо- дель их прогноза, поисков и оценки. <i>Сердюк С.С.</i>	122

Прогнозирование и оценка молибденовых и вольфрам-молибденовых месторождений на основе их комплексных моделей. <i>Покалов В.Т., Чердаков В.И.</i>	149
Прогнозирование танталовых и тантал-ниобиевых месторождений на основе их обобщенных поисково-геологических моделей. <i>Архангельская В.В., Рябцев В.В., Шурига Т.Н.</i>	158
Прогноз, поиски и оценка разнотипных месторождений олова на основе их комплексных моделей. <i>Павловский А.Б., Митрофанов Н.П., Бурова Т.А.</i>	167
Минералого-геохимические признаки масштабности колчеданных месторождений вулканогенных ассоциаций. <i>Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.А.</i>	176
Прогнозные ресурсы в системе программно-целевого управления воспроизводством МСБ благородных и цветных металлов России. <i>Витковский И.М., Конкина О.М., Кузнецов В.В., Лобач В.И., Чанышев И.С.</i>	182
Экспрессная оценка затрат на освоение месторождений благородных и цветных металлов на основе геолого-экономических моделей (по зарубежным горнорудным проектам). <i>Августинчик И.А., Мызенкова Л.Ф., Карпечкина Н.Ф.</i>	192
Применение ГИС технологий для прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов на основе банка моделей разноранговых металлогенических таксонов. <i>Кузнецов В.В., Финкельштейн М.Я., Киртичева Е.Ю., Рыбалкин М.Н.</i>	204

Р Е Ш Е Н И Е
научно-практической конференции
«Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений
на основе их комплексных моделей —
достижения и перспективы»

4–6 апреля 2006 г. в ЦНИГРИ (г. Москва) проведена научно-практическая конференция «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы», которую организовали Федеральное агентство по недропользованию, Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов и Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых при поддержке Российского геологического общества, Российской академии естественных наук и Международной академии минеральных ресурсов.

Цель конференции — повышение эффективности реализации мероприятий «Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья на 2005-2010 гг. и до 2020 года», утвержденной МПР России (приказ №160 от 08.06.2005 г.).

В работе конференции приняли участие около 250 специалистов из 57 организаций, представляющих профильные отраслевые и региональные НИИ, институты Российской академии наук и Национальной академии наук Украины, ВУЗы России, производственные организации Роснедра, геологоразведочные и горнорудные компании России и Казахстана.

На конференции было представлено 143 доклада, посвященных обобщению передового опыта использования комплексных моделей месторождений при проведении ГРР по воспроизводству минерально-сырьевой базы и приросту запасов; оптимизации и координации работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению федеральных ГРР; разработке научно-методических основ создания альтернативных минерально-сырьевых баз за счет выявления месторождений новых и нетрадиционных типов; разработке и реализации инновационных технологий ГРР.

Участники конференции отметили, что за время, прошедшее после совещания «Количественные модели рудных месторождений для целей прогноза, поисков и разведки» (1993 г.), применительно к месторождениям ведущих полезных ископаемых создана система взаимосвязанных по ряду характеристик моделей, концентрирующая информацию по сотням оцененных, разведанных и эксплуатируемых месторождений. Система включает генетические и геолого-генетические качественные и количественные, описательные классификационно-признаковые прогнозно-поисковые, геолого-промышленные количественные, прогнозно-поисковые параметрические, морфометрические, концентрационные, градиентно-векторные, композитные (многофакторные) оценочно-разведочные и геолого-экономические модели. На их основе в Роснедра создана программно-целевая система управления воспроизводством минерально-сырьевой базы

твердых полезных ископаемых и соответствующими геологоразведочными работами, включающая научно-методическое обеспечение и сопровождение ГРР. Эта система наиболее полно реализована при проведении геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы; в последние годы был достигнут существенный рост ресурсной базы этих металлов и выявлены новые рудоносные провинции и месторождения.

На конференции были продемонстрированы новые методические разработки по поискам и оценке алмазов, благородных, цветных, черных и легирующих металлов и нерудных полезных ископаемых; методические приемы построения комплексных моделей месторождений твердых полезных ископаемых, проведения геохимических, геофизических и космогеологических работ и интерпретации их результатов, а также направления оптимизации ГРР.

Участники конференции особо подчеркнули значимость «Долгосрочной государственной программы...», а также созданной в Роснедра программно-целевой системы управления воспроизводством минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых для повышения эффективности ГРР и отметили необходимость её расширенного использования при практической реализации мероприятий отечественной минерально-сырьевой политики, а также в научно-прикладных и общеобразовательных целях.

Вместе с тем на конференции было отмечено:

в практике геологоразведочных работ преимущественно используются ранее созданные модели, которые требуют дальнейшего совершенствования;

«Долгосрочной государственной программой...» предусмотрено необходимое научное и научно-методическое обеспечение, однако в текущих грантах и госзаказах на НИР пока недостаточно научно-поисковых работ по созданию комплексных моделей месторождений новых и нетрадиционных типов, по адаптации передовых достижений в области генезиса месторождений для совершенствования методов и технологий прогноза и поисков;

прогнозно-металлогенические построения в ряде случаев не обладают должной достоверностью и воспроизводимостью в связи с тем, что уже разработанные термины и понятия используются не в полной мере, как и соответствующие методические приемы, что обусловлено недостаточной информационной преемственностью между геологами разных поколений и специалистами разных ведомств и организаций.

Конференция сочла возможным обратить внимание МПР России и Федерального агентства по недропользованию на необходимость создания Российского металлогенического кодекса, призванного обеспечить сопоставимость и воспроизводимость прогнозно-металлогенических построений на основе унификации методических приемов выделения металлогенических таксонов, требований к прогнозно-металлогеническим картам и обоснованию объектов ГРР в целях повышения результативности и эффективности работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых.

Участники конференции отметили актуальность и важное научно-прикладное значение конференции и поддержали решение Оргкомитета о публикации ее материалов в интересах широкой геологической общественности.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Уважаемые коллеги!

Открывая сегодня научно-практическую конференцию, посвященную прогнозам, поискам и оценке месторождений твердых полезных ископаемых, хочу отметить, что одной из основных целей деятельности Роснедра является воспроизводство минерально-сырьевой базы нашей страны, что определено «Положением о Федеральном агентстве по недропользованию», рядом постановлений Правительства Российской Федерации, «Долгосрочной государственной программой изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России...», ведомственными среднесрочными программами. В задачи работ Роснедра входит создание инвестиционно привлекательного фонда недр с оценкой прогнозных ресурсов для передачи их недропользователям с целью получения прироста запасов.

В последние годы Правительство, обращая должное внимание на минерально-сырьевую базу для стабильного развития страны, значительно увеличило финансирование геологоразведочных работ. Так, если в 2003 г. на эти работы из бюджета было выделено 5,2 млрд. руб., в 2004 г. — 7 млрд. руб., то в 2005 г. — 11,2 млрд. руб., а в нынешнем же году — более 16 млрд. руб. Следовательно, за короткий срок затраты федерального бюджета на геологоразведочные работы увеличились более чем в 3 раза.

Привлечение внебюджетных инвестиций в воспроизводство минерально-сырьевой базы позволило по ряду полезных ископаемых преодолеть негативные тенденции прошлых лет, когда добыча полезных ископаемых значительно превышала прирост запасов и ресурсов. Например, по нефти, прирост балансовых запасов превысил добычу в 1,25 раза (585 млн. т против 470 млн. т), по золоту — в 1,8 раза (330 т против 185 т).

Возросла конкуренция в сфере недропользования, что видно из проведенных аукционов. В 2003 г. бюджет страны получил 1,7 млрд. руб., в 2004 г. — 7,2 млрд. руб., а в 2005 г. — 53 млрд. руб. Экономическая эффективность отечественной геологоразведки определяется тем, что каждый рубль, вложенный в геологоразведочные работы, принес 460 руб. прироста ценности недр.

Для реализации мероприятий по воспроизводству минерально-сырьевой базы в Роснедра создана современная программно-целевая система управления этим процессом, что дает возможность целенаправленно проводить геологоразведочные работы, в

результате чего растет их эффективность. В этом немалая роль принадлежит ЦНИГРИ и ЦНИИГеолнеруд — организаторам данной конференции.

Рост финансирования, а значит и объемов геологоразведочных работ диктует необходимость усиления и расширения их научно-методического обеспечения, что возможно только при условии максимального использования научного потенциала соответствующих организаций и в первую очередь научно-исследовательских институтов, подведомственных Роснедра.

Совместные работы научных коллективов и организаций, осуществляющих геологоразведочные работы, проводимые в рамках их научно-методического обеспечения и сопровождения, продемонстрировали высокую эффективность и решающим образом повлияли на качество и результативность поисков и оценки месторождений.

Надеюсь, что проводимая конференция рассмотрит результаты совместной деятельности научных и геологоразведочных организаций и разработает предложения по дальнейшему росту результативности геологоразведочных работ с целью расширения минерально-сырьевой базы России.

Желаю успехов Оргкомитету и участникам конференции, которая посвящена актуальным проблемам современных и будущих геологоразведочных работ.

А.А.Ледовских
(Руководитель
Федерального агентства по недропользованию)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ПО ВОСПРОИЗВОДСТВУ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В 2005 г. И ЗАДАЧИ НА 2006 г.

В.Н.Бавлов, Б.К.Михайлов (Роснедра МПР России), С.С.Вартанян (ЦНИГРИ)

Значение благородных металлов в современной российской экономике переоценить сложно. На фоне массового спада производства большинства твердых полезных ископаемых в последние годы, а порой и полного его прекращения, добычу золота, серебра, платиноидов и алмазов к настоящему времени удалось не только восстановить в доперестроечных объемах, но и где-то даже превысить их. Как известно, в недалеком прошлом это способствовало своевременному решению ряда социально-политических проблем общества, а в будущем — создаст определенные предпосылки для реанимации отечественного горно-промышленного комплекса.

Необходимо отметить, что практически 15-летнее взаимодействие государства и бизнеса в сфере благороднометалльного (и прежде всего золотого) минерально-сырьевого комплекса привело ко многим позитивным изменениям отечественного горного законодательства, способствовавшим достижению относительной сбалансированности вопросов производства и воспроизводства на государственном и коммерческом уровнях. На примере золота последовательная реализация этих принципов дает все основания говорить о том, что в «золотом» минерально-сырьевом комплексе страны имеются все условия и предпосылки не только для устойчивого роста добычи, но и ее значительного увеличения.

Существенная (около 45%) доля россыпей в общем балансе золотодобычи на рубеже 2010–2015 гг. может резко измениться в пользу объемов добычи из коренных месторождений (до 80–90%). Естественно, это накладывает на геологоразведку большие обязанности по сохранению и поддержанию минерально-сырьевой базы, максимально полному раскрытию ее огромного потенциала.

В 2005 г. геологоразведочные работы за счет средств федерального бюджета производились на 28 видов твердых полезных ископаемых, из которых 17 относятся к стратегическим. На эти цели по сравнению с предыдущим годом ассигнования федерального бюджета были увеличены практически втрое (рис. 1). Оценивая итоги планирования прошлого года в целом, можно сказать, что, несмотря на значительное увеличение масштабов работ, удалось сохранить рациональную технологическую последовательность поисков и обратить основное внимание на изучение объектов федерального значения. Важно и то, что при проектировании работ большое значение придавалось обоснованности задач и логической завершенности поисков. С одной стороны, это способствовало повышению дальнейшей концентрации средств на одном объекте (в среднем с 9,8 до 12,6 млн. руб.), а с другой, обеспечило более высокую достоверность получае-

мых оценок прогнозных ресурсов полезных ископаемых и рекомендаций по дальнейшему развитию геологоразведочных работ.

Для понимания общей картины остановимся на характеристике основных результатов работ по государственным контрактам Федерального агентства по недропользованию по всему комплексу изучавшихся твердых полезных ископаемых. При этом особо выделяются работы на благородные металлы, на укрепление минерально-сырьевой базы которых ежегодно направляется более половины всех средств: из 264 действовавших объектов геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые (ТПИ) 134 — это благородные металлы и алмазы (рис. 2).

Направления расходов по видам полезных ископаемых соответствуют «Долгосрочной государственной программе изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья» (утверждена приказом № 10 МПР России от 08.06.2005) и сложившейся конъюнктуре участков недр на рынке лицензирования (рис. 3). Приоритетными, как и в предыдущие годы, оставались высоколиквидные (золото, серебро, платиноиды, алмазы, медь) и остродефицитные виды сырья (черные, цветные металлы, урановое сырье, некоторые виды неметаллов); на уровне необходимого присутствия — работы на редкие металлы, уголь, неметаллы.

Важно подчеркнуть, что в структуре направлений работ в прошедшие два года заметную роль (21%) играли опережающие геохимические, геофизические и производственно-тематические исследования, призванные обеспечить более обоснованное и рациональное размещение выбираемых объектов для выполнения поисковых работ.

Среди федеральных округов средства были распределены в соответствии с их минерагеническим потенциалом, инфраструктурой и традиционным профилем развития экономики (рис. 4). Лидируют Сибирский и Дальневосточный округа (64%) с явным преобладанием доли работ на благородные металлы, далее следуют Уральский и Приволжский (15%), концентрирующие свои усилия на медноколчеданных, золоторудных объектах и объектах дефицитных нерудных полезных ископаемых. В то же время на изучение минерагенического потенциала черных и цветных металлов (железо, марганец, кобальт, полиметаллы) в Мировом океане потрачено столько же средств (около 11% от общих ассигнований), сколько в Северо-Западном, Южном и Центральном округах вместе взятых.

Внутри федеральных округов затраты по видам полезных ископаемых складываются следующим образом. Доля благородных металлов закономерно возрастает там, где сложнее географо-экономическая ситуация (Дальний Восток, Сибирь). Более благоприятные экономические условия Урала, Приволжья, Северо-Запада России способствуют вовлечению в круг исследований и более широкого спектра полезных ископаемых.

Распределение средств по субъектам Российской Федерации отражает их доказанный потенциал, вклад в формирование федерального бюджета, традиционный профиль экономического развития, социально-экономические и геополитические аспекты. При

этом около 45% всех ассигнований было сконцентрировано в шести субъектах: Республике Саха (Якутия), Красноярском крае, Республике Бурятия, Магаданской, Иркутской и Читинской областях. Повышенный интерес к освоению минерально-сырьевой базы этих регионов проявляет и горный бизнес, особенно такие крупные компании как «Алроса», «Полус», «Норильский никель», «Бурятзолото». В то же время, несмотря на формально высокий минерагенический потенциал недр, практически отсутствует финансирование геологоразведочных работ за счет федерального бюджета в Хабаровском крае и Камчатской области, что объясняется несбалансированностью политики лицензирования и геологического изучения недр данных регионов, проводимой руководством территориальных органов Федерального агентства по недропользованию и администраций субъектов.

Основные результаты поисковых работ на твердые полезные ископаемые, полученные в 2005 г. в условиях трехкратного увеличения средств федерального бюджета, стабильного финансирования и максимальной технологической нагрузки каждого объекта необходимыми видами и объемами исследований, заключаются в следующем.

Принципиально важно выделение новых объектов и обоснование оценок известных рудно-металлогенических зон и районов, реализация потенциала которых способна улучшить ситуацию в минерально-сырьевом комплексе отдельных видов полезных ископаемых. Перспективы каждого из этих таксонов подтверждаются выявлением и оценкой реальных промышленно значимых объектов.

На юге России (рис. 5) выделена *Ставропольская титан-циркониевая провинция*. Исходя из полученных данных ее россыпные месторождения обладают лучшими характеристиками по сравнению с известными отечественными объектами, а их общий потенциал в случае активного освоения позволит полностью освободиться от импортных поставок этих видов сырья. Значение открытия подтверждается перспективами Айгурского и Гофицкого проявлений, практически подготовленных к лицензированию, а также Бешпагирского месторождения, находящегося в стадии подготовки к освоению.

Обосновано выделение *Северо-Алтайской золоторудной зоны*, в корне меняющей традиционные представления о рудной (полиметаллической) специализации этого региона, что существенно повышает его общую ценность и инвестиционную привлекательность. Обоснование получено в результате геохимической съемки всей площади и локальных поисковых работ, которыми в 2005 г. выявлены новые перспективные золоторудные объекты с прогнозными ресурсами золота на уровне 20–80 т в пределах *Ново-Фирсовского и Майско-Лебедского рудных районов*. Кроме того, на участке Сурич за счет средств недропользователя (ЗАО «Бурятзолото») в 2005 г. получены данные о наличии богатых руд эпитермального золотосеребряного типа в девонских вулканогенных образованиях.

Разрозненные сведения о проявлениях золота на Северном Кавказе имелись и ранее, но только в 2005 г. с появлением системных знаний о золотоносности черносланцевых и вулканогенных образований стало возможным обособление *Северо-Кавказской* и

Днепровско-Донецкой золоторудных зон, характеризующих собой разные типы геолого-структурных обстановок. Если прежде перспективы Северного Кавказа традиционно связывались с освоением месторождений цветных металлов, а Днепровско-Донецкого авлакогена — угольных, то накопление новых данных о промышленной золотоносности Учкуланского, Кардан-Куспартинского, Грушевско-Кадамовского, Барило-Крепинского, Керчикского и других участков позволяет рассчитывать на выявление здесь рентабельных месторождений с запасами от 30 до 50 т.

Учитывая многокомпонентность последних открытий (титан-циркониевые россыпи, золото, бентониты, различные виды нерудных полезных ископаемых, полиметаллы, углеводородное сырье), представляется возможным поставить вопрос о создании на юге России нового территориально-промышленного комплекса, ориентированного на комплексное освоение недр территории.

Забайкальская сурьмяно-рудная провинция на юге Сибири по своему потенциалу со-размерна Сарылахскому рудному району в Якутии. Открытия на Солонцовой площади создают предпосылки проектирования здесь современного горно-металлургического предприятия, способного обеспечить нужды отечественных потребителей, а также обеспечить экспорт сурьмяной продукции на мировой рынок.

Западно-Верхоянская серебрянорудная провинция постепенно оформилась в качестве мощной резервной базы, способной в полном объеме заместить осваиваемые месторождения Магаданской области или же стать дополнительным центром серебродобычи в стране. Оценивая значимость открытий богатых серебряных руд, можно говорить о далеко неполном раскрытии потенциала Дальневосточного региона, в т.ч. на нетрадиционные типы месторождений.

Пограничный золоторудный район в Приморском крае за два года исследований вошел в число инвестиционно привлекательных. Долгое время он оставался недоступным для геологов, и сейчас есть уверенность, что на металлогенической карте России появится новая перспективная территория.

Яно-Колымская золоторудная провинция обретает свое новое рождение. Есть все основания считать, что уникальная золотороссыпная провинция мирового класса, находящаяся в режиме стремительно падающей добычи, постепенно приобретает черты гигантской золоторудной провинции. С одной стороны, работами ЗАО «Полюс» на Наталкинском месторождении обосновывается возможность освоения его по схеме крупнообъемного объекта, способного обеспечивать до 30–40 т годовой добычи, а с другой, исследования, выполняемые за счет федерального бюджета в Магаданской области и Якутии, существенно расширяют круг такого рода объектов и увеличивают золоторудный потенциал провинции в десятки раз.

Новые находки объектов с богатыми урансодержащими рудами в Ачитканском и Бульбухтинском рудных районах Иркутской области позволили по-новому оценить стратегическое значение *Северо-Прибайкальского урановорудного района* и поставить вопрос об изменении приоритетов в планировании работ этого направления с акцентом

на изучение проявлений эндогенного типа. Дальнейшее наращивание здесь объемов геологоразведочных работ позволит рассчитывать на получение результатов, кардинально изменяющих ту критическую ситуацию, которая складывается в стране с запасами урана. В целом, оценивая результаты геологоразведочных работ на уран в последние 15 лет, необходимо признать, что, несмотря на высокую оценку перспектив, отсутствие ярких положительных результатов в стране связано с рядом причин идеологического, организационного и методического плана.

Таким образом, в результате поисковых работ 2005 г. обоснованы и существенно расширены перспективы девяти новых рудно-металлогенических таксонов, имеющих принципиально важное значение для укрепления отечественной минерально-сырьевой базы.

Наряду с перечисленными достижениями, характеризующими результаты работ на новых территориях и направлениях, в 2005 г. были продолжены работы по развитию потенциала известных рудных районов страны. При этом, наряду с очевидными успехами по большинству полезных ископаемых, имеются и отрицательные результаты. В частности, сохраняются проблемы улучшения марганцеворудной и урановорудной баз страны, расширения минерально-сырьевой базы цветных металлов старых действующих горно-рудных предприятий.

Говоря о золоте, необходимо отметить, что впервые за последние 15 лет в России наконец-то получены значительные приросты запасов, которые почти вдвое перекроют ожидаемый годовой объем добычи. Это стало возможным за счет учета государственным балансом запасов новых месторождений — более 220 т на Благодатном в Красноярском крае (ЗАО «Полус») и 90 т на Куполе в Чукотском АО (ЗАО «Чукотская ГДК»).

Федеральные интересы по золоту определяются необходимостью создания нового ликвидного фонда объектов недропользования, выявления экономически доступных для освоения объектов, в первую очередь коренных месторождений традиционных типов в районах с развитой инфраструктурой; малораспространенных и нетрадиционных типов, допускающих крупнообъемную добычу руд с прогрессивными технологиями их переработки; россыпных месторождений в новых районах и в зонах интересов действующих предприятий для стабилизации их добывающих мощностей.

Основные объемы бюджетных ассигнований (49–63%) в последние годы направляются на геологоразведочные работы, ориентированные на выявление крупнообъемных месторождений золотосульфидных и золотокварцевых руд в терригенных и терригенно-карбонатных комплексах (на Среднем Урале, в Республике Башкортостан, Горном Алтае, Красноярском крае, Республике Саха (Якутия), Магаданской области, Северо-Байкальском районе и др.). Как правило, эти месторождения при невысоких (2–4 г/т) средних содержаниях золота характеризуются значительными запасами (100 т и более) и могут обеспечить устойчивое развитие регионов. В связи с этим особый интерес представляет ряд известных объектов ведущих золоторудных провинций России, оцененных ранее в существовавших тогда экономических условиях. В первую очередь это

относится к известным российским гигантам — месторождения Наталкинское и Сухоложское. Только их переоценка по модели крупнообъемной добычи способна обеспечить за 1–2 года прирост запасов в объеме около 1500 т. Всего же по итогам 2005 г. в разряд высокоперспективных на выявление золоторудных месторождений включена серия новых объектов, причем, не только в восточных регионах страны (рис. 6).

Оценивая результативность поисковых работ начальной стадии на твердые полезные ископаемые, следует констатировать достаточно высокую их эффективность, которая сопоставима с лучшими годами советского периода. Такой результат был получен благодаря оптимальному планированию работ в предыдущие три года, тщательному научному обоснованию участков и площадей, вовлекаемых в геологоразведочный процесс и, безусловно, эффективной работе предприятий, выполнявших государственный заказ в условиях стабильного финансирования. Вместе с тем, в числе хронически не решаемых проблем остается задача поисков рентабельных месторождений хромовых и марганцевых руд, уранового сырья и ряда нерудных полезных ископаемых, потребность в которых покрывается в основном за счет импорта.

Особо следует отметить, что основная проблема отечественного минерально-сырьевого комплекса — отсутствие компенсирующих добычу приростов запасов практически по всему комплексу полезных ископаемых — сохраняется и по сей день (рис. 7).

В первую очередь это обстоятельство связывается с неэффективной работой по воспроизводству запасов большинства видов полезных ископаемых. В целом 2005 г. не изменил отрицательные тенденции, показывающие динамику соотношения показателя прирост – добыча. Исключение составляет, как уже говорилось, лишь золото. Длительное время проедаются запасы урана, меди, никеля, золота, платиноидов, алмазов и других полезных ископаемых.

В вопросах лицензирования недр в последние годы достигнуты определенные успехи (рис. 8). Так, в 2005 г. проведено 637 аукционов и конкурсов; по сравнению с 2004 г. и 2003 г. их количество увеличилось соответственно в 2 и 5,5 раз. По их результатам выдана 451 лицензия, т.е. 2/3 состоявшихся аукционов и конкурсов — на благородные металлы и алмазы.

Несмотря на то, что в основном из-за неудовлетворительной работы территориальных органов 30% объявленных аукционов не состоялось, в целом результаты 2005 г. подтвердили высокую заинтересованность недропользователей в получении новых участков недр. Суммарные разовые платежи по проведенным аукционам составили 21,4 млрд. руб., что в 8 раз превышает уровень 2004 г. и более чем в 700 раз уровень 2002 г.; 63% платежей приходятся на уголь.

Еще одно важное направление в области лицензирования — решение вопросов предоставления прав пользования участками недр для геологического изучения за счет средств недропользователей. В 2005 г. после утверждения порядка рассмотрения заявок работа в этом направлении возобновилась, и выдана 131 лицензия.

Независимо оттого, что в 2005 г. формально была восстановлена работа по рассмотрению заявок на разведку и добычу полезных ископаемых при установлении факта открытия месторождений, и все же она ведется крайне неудовлетворительно из-за отсутствия согласованности действий Роснедра, МПР и Минэкономразвития. В результате за прошедший год Федеральным агентством не выдано ни одной лицензии. За невыполнение условий пользования недрами досрочно прекращено право пользования по 364 лицензиям. И это можно расценивать как начало работы, в т.ч. совместно с Росприроднадзором.

Вместе с тем, говоря о лицензировании и низкой эффективности работы большинства недропользователей в части воспроизводства минерально-сырьевой базы, заметим, что им переданы и передаются в пользование громадное число самых лучших из известных участков недр. Взамен не получено не только эффективного воспроизводства запасов по большей части полезных ископаемых, но и, по сути, замораживается сам процесс геологического изучения территории России. Многие лицензии отозваны в связи с неисполнением лицензионных соглашений. Нет результатов планово-завершенных лицензий на геологическое изучение в 2005 г. В чем геологическая новизна проведенных исследований? Что произошло с теми прогнозными ресурсами, которые были переданы компаниям на начало действия лицензий — перешли ли они в запасы, повысили категории запасов или они не подтвердились? За всеми этими вопросами — информационный вакуум. Ни ярких сведений о новых геологических данных или хотя бы информации о качестве завершенных отчетов, ни адекватного количества выданных свидетельств о факте открытия новых месторождений, ни грамма апробированных в установленном порядке прогнозных ресурсов! Может быть, прав губернатор Кемеровской области Аман Тулеев, призвавший свернуть кампанию по предоставлению прав пользования недрами в своем субъекте, и не правы те, кто, наращивают этот процесс год от года? Во всяком случае, давая возможность компаниям вести прибыльный бизнес, государство вправе и обязано организовать системность исследований и контроль за производством геологоразведочных работ и ни в коем случае не допускать существующие хаотичность и нерезультативность.

Серьезное беспокойство вызывает огромный объем лицензирования, который планируется на 2006 г. — более 1000 аукционов и около 300 объектов на геологическое изучение за счет средств недропользователей. С одной стороны, можно только приветствовать активность территориальных органов, субъектов Федерации и недропользователей, которые ежегодно наращивают объемы лицензирования. Однако качество предоставляемых материалов для формирования перечней лицензирования в целом низкое. Тем не менее, все перечни рассмотрены, абсолютное их большинство утверждено. Надеемся, что подготовка аукционных материалов идет полным ходом, и за оставшиеся месяцы территориальные органы и центральный аппарат осият заявленный объем работы. За ходом данного мероприятия будет установлен жесткий контроль.

Планирование геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за счет средств федерального бюджета на 2006 г. развивает основные уже охарактеризованные направления с учетом достигнутых результатов 2005 г. Предполагается дальнейший рост средств федерального бюджета (см. рис. 1). На 297 объектов геологоразведочных работ по твердым полезным ископаемым выделено 5,22 млрд. руб. Половину из них составят работы на благородные металлы и алмазы, которые будут выполняться по 133 проектам.

В 2006 г. будет продолжено изучение известных и вновь выявленных минерогенических структур с акцентом на решение задач федерального уровня. В структуре распределения средств по видам полезных ископаемых на фоне сохранения пропорций 2005 г. предусмотрен существенный рост (с 9 до 16%) ассигнований на поиски черных металлов, что вызвано необходимостью создания минерально-сырьевой базы на Приполярном и Полярном Урале, поддерживающей горно-металлургический комплекс промышленного Южного Урала и обеспечивающей загрузку проектируемой железной дороги, которая свяжет эти регионы, в связи с чем, естественно, резко возрастет доля затрат в Уральском федеральном округе, тогда как по остальным регионам соотношение затрат в текущем году к 2005 г. существенных изменений не принесет.

Распределение средств в 2006 г. по субъектам Российской Федерации практически сохраняется. Некоторые изменения по сравнению с 2005 г. объясняются корректировкой по результатам геологоразведочных работ последних 2–3 лет и предпринятыми уточнениями планов работ. Тем не менее, распределение ассигнований в 2005 г. по субъектам России на благородные металлы среди 6–7 субъектов Сибирского и Дальневосточного федеральных округов — Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Республика Бурятия, Магаданская область, Иркутская область, Читинская область — сохранится лидерство и в 2006 г. Именно эти субъекты обеспечивают основной объем локализации прогнозных ресурсов золота в стране с минимальной стоимостью их прироста от 2,5 до 5,5 руб. за 1 г, тогда как в других регионах она составляет 9–12 руб. за 1 год.

В 2006 г. спектр изучаемых видов полезных ископаемых расширится за счет работ на железные руды, стронций, литий, а также группы неметаллов.

Расширится и география исследований (рис. 9) — в списке новых субъектов появятся Калининградская область (калийные соли), Ханты-Мансийский АО (железные, марганцевые руды, уголь), Республика Калмыкия (урановое сырье, титан-циркониевые россыпи), Томская область (железные руды).

Произойдет оживление работ на цветные металлы в Приморье и на Алтае, на олово и сурьму — в Якутии, расширятся работы на платиноиды в Мурманской области и Карелии, на алмазы — в Карелии, впервые начнутся работы на платиносодержащие хромовые руды на Чукотке, по оценке золоторудного потенциала Таймыра и россыпной платиноносности районов развития траппов в Восточной Сибири.

Масштабность и напряженность планов геологоразведочных работ на разнообразный спектр твердых полезных ископаемых в рамках федеральной программы 2006 г. очевидны. Расчет показателей ожидаемого прироста ценности недр за счет всех видов полезных ископаемых (рис. 10) показывает, что по сравнению с 2005 г. он увеличится на 65%. Как видим, здесь ситуация вполне закономерна, контролируема, прогнозируема и зависит только от кадровой составляющей и ритмичности финансирования геологоразведочных работ.

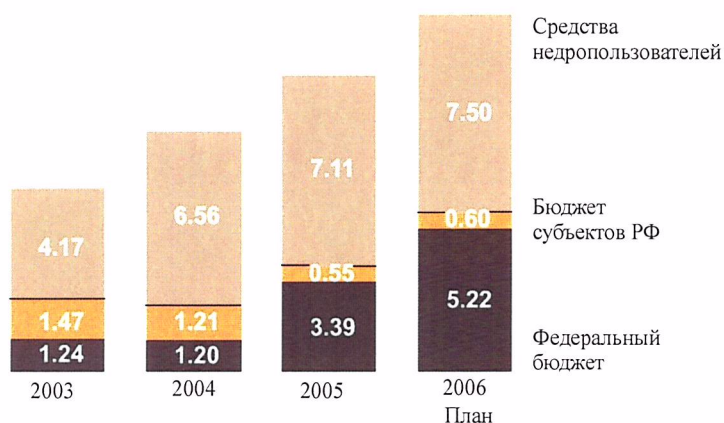


Рис. 1. Динамика финансирования геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2003–2006 гг., млрд. руб.

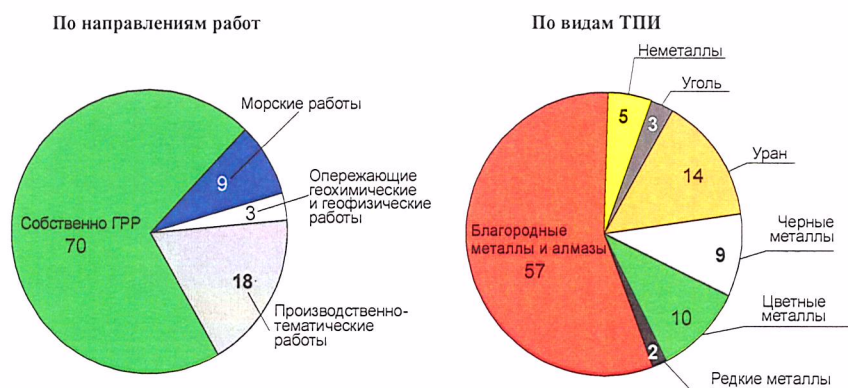


Рис. 2. Структура затрат на геологоразведочные работы в 2005 г. на твердые полезные ископаемые, %

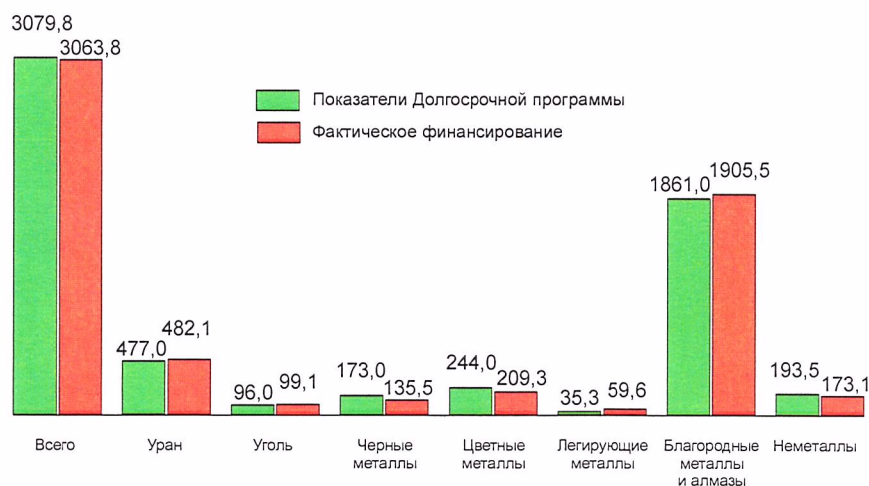


Рис. 3. Выполнение основных финансовых показателей геологоразведочных работ в 2005 г. за счет средств федерального бюджета, млн.руб.

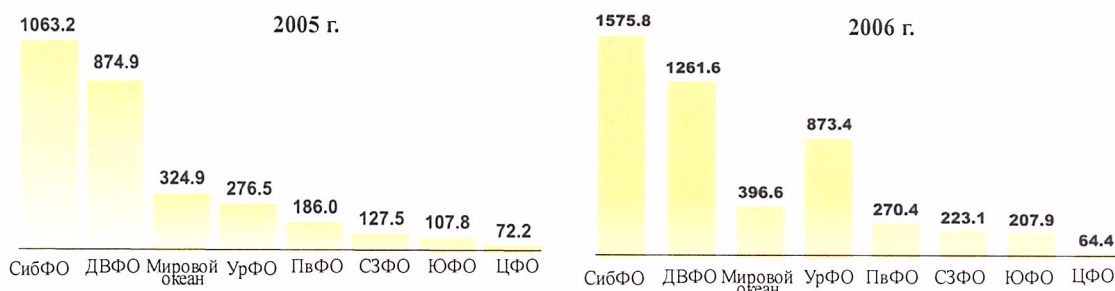


Рис. 4. Распределение средств федерального бюджета на геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые среди федеральных округов и в Мировом океане, млн. руб.

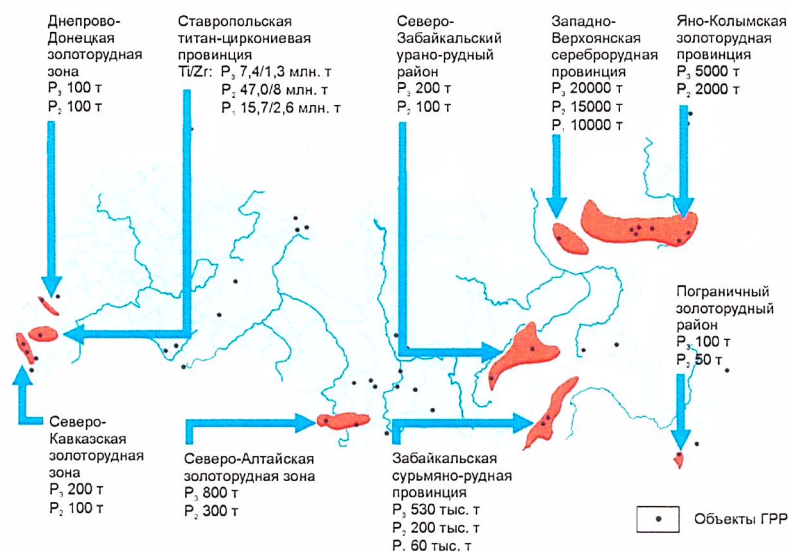


Рис. 5. Основные результаты поисковых работ на твердые полезные ископаемые в 2005 г.



Рис. 6. Основные результаты поисковых работ на золото в 2005 г.

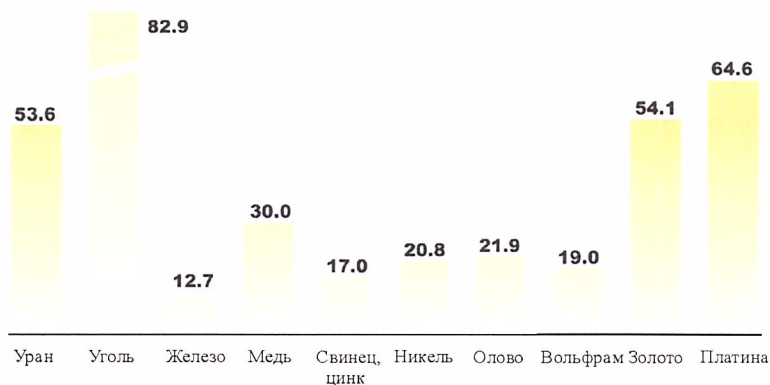
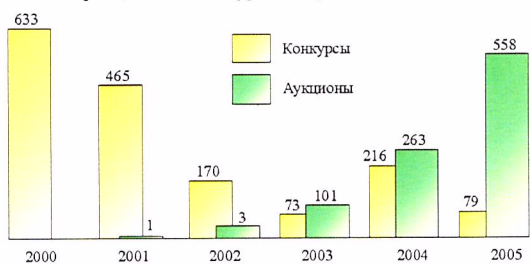


Рис. 7. Отношение прироста разведанных запасов основных видов твердых полезных ископаемых к добыче за период 2000–2004 гг., %

Число проведенных конкурсов и аукционов в 2000–2005 гг.



Динамика роста суммы разовых платежей в 2000–2005 гг., млн. руб.



Число действующих лицензий на геологическое изучение недр (с учетом совмещенных) на 01.01.2006 г.

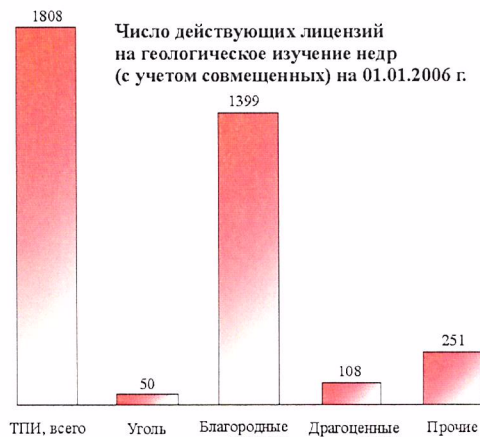


Рис. 8. Лицензирование пользования недрами на твердые полезные ископаемые



Рис. 9. Объекты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в 2006 г.

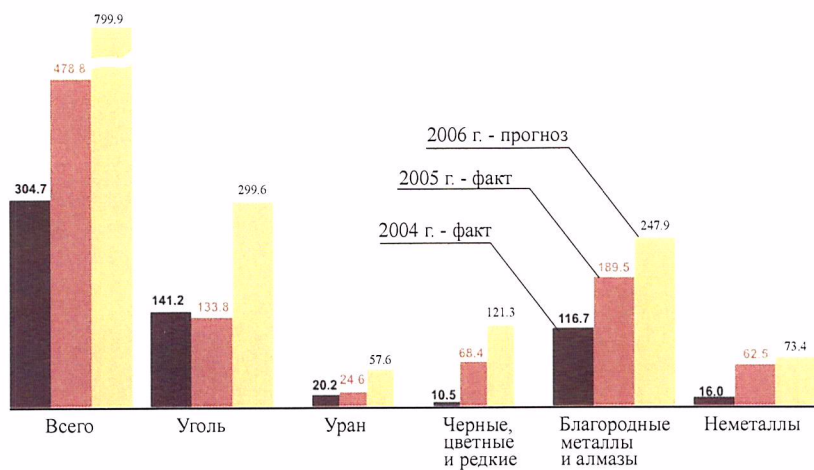


Рис.10. Прирост ценности недр в результате геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за счет средств федерального бюджета, млрд. руб.

СИСТЕМА ПРОГНОЗА, ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ — НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ

*Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян, А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев (ЦНИГРИ),
Б.К.Михайлов (Роснедра)*

Созданию системы предшествовали многолетние разработки ЦНИГРИ по прогнозированию, поискам и оценке месторождений благородных и цветных металлов главным образом по мере адаптации геологоразведочных работ и научных исследований к современному правовому полю недропользования, организационным и структурным перестройкам отечественной геологической службы.

В XX в. темпы роста потребления минерально-сырьевых ресурсов постоянно превышали темпы увеличения народонаселения. При этом все интенсивнее развивались процессы глобализации, включая глобализацию минерально-сырьевых баз, которая осуществляется в первую очередь в интересах стран, достигших стадии постиндустриального развития. Одновременно человечество все больше и больше проникается идеями сбалансированного развития, которое предполагает необходимость обеспечения природными ресурсами не только ныне живущих, но и будущих поколений.

При этом, минерально-сырьевое обеспечение России к концу XX в. оказалось под воздействием ранее непрогнозирувавшихся процессов, среди которых наиболее негативное влияние имели:

деструкция ранее единой (общесоюзной) минерально-сырьевой базы, что дестабилизировало систему сырьевого самообеспечения национальной экономики;

разрыв технологических связей в минерально-сырьевом комплексе — между добывающими и перерабатывающими предприятиями, между рудой и металлом, между металлом и изделиями;

деформация системы управления минерально-сырьевым комплексом — от создания минерально-сырьевых баз до их эффективного использования.

Отсюда возникла необходимость оценки устойчивости отечественной минерально-сырьевой безопасности во взаимозависимом глобализируемом мире, выявления угрожающих факторов и разработки мер, обеспечивающих снижение уровня таких угроз с учетом происходящих в стране политических, социально-экономических преобразований, а также изменений в правовом и экономическом поле недропользования. Эти задачи имеют наибольшую остроту для высоколиквидных полезных ископаемых — благородных (золото, серебро, платиноиды) и цветных (никель, медь, свинец и цинк) металлов, мониторинг минерально-сырьевой базы которых систематически ведется в ЦНИГРИ более полувека.

Решение упомянутых задач в соответствии с требованиями изменившейся ситуации потребовало разработки научного обоснования, создания и реализации системы про-

гноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов, отвечающей современным условиям выявления и оценки ресурсного потенциала недр и снижающей уровень ранее сложившихся угроз отечественной минерально-сырьевой безопасности.

Система объединяет девять блоков, отражающих оптимизированную структуру управления использованием и воспроизводством минерально-сырьевой базы, а также организацию и стадийность геологоразведочного процесса, реализуемого с применением инновационных технологий (рис. 1).

Научное обоснование системы составляют: Система моделей месторождений и Методические руководства по оценке прогнозных ресурсов. Соответствующие работы способствуют развитию, с одной стороны, теории рудогенеза, а с другой, общей и прикладной металлогении. Они так же обеспечивают профессиональную информационную преемственность, в т.ч. при подготовке кадров. Материалы этого блока используются для Оценки, переоценки и мониторинга прогнозных ресурсов, в результате чего создается база для Оценки положения отечественной МСБ в мировом минерально-сырьевом обеспечении и применяется при Прогнозах использования и воспроизводства отечественной МСБ.

Соответствующие аналитические построения использованы для разработки Среднесрочных (до 2010 г.) и долгосрочных (до 2020 г.) программ воспроизводства МСБ Российской Федерации.

Программы открывают блоки по реализации системы. В них мероприятия конкретизированы в Оперативные планы и проекты геологоразведочных работ, которые формируются и реализуются при Научно-методическом сопровождении и обеспечении проектов геологоразведочных работ, базирующихся на инновационных технологиях.

Конечные результаты реализации системы выражаются Воспроизводством МСБ и формированием фонда недропользования для прироста запасов с получением текущих и будущих минерально-сырьевых, экономических и социальных эффектов.

Начало создания в ЦНИГРИ системы моделей месторождений относится к 80-м годам прошлого столетия. Разработки были интенсифицированы, начиная с 1993 г., в связи с острой необходимостью вхождения отраслевой науки и геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы в новое правовое поле недропользования.

Модели, разработанные для всех базовых типов месторождений по содержанию и целеназначению разделяются на (рис. 2):

классификационно-признаковые и прогнознo-поисковые (включая геолого-геофизические и геолого-геохимические), предназначенные для выделения перспективных площадей, разработки прогрессивных технологий поисков и оценки на основе соответствия между элементами моделей и методами геологоразведочных работ, а также для определения требований к результатам и качеству геологоразведочных работ;

геолого-генетические и генетические, синтезирующие накопленные фундаментальные знания для разработки теории рудообразования, в т.ч. и для прогноза месторождений нетрадиционных и новых типов;

композитные количественные, позволяющие оптимизировать плотности сетей поисковых и оценочных наблюдений;

геолого-промышленные и геолого-экономические, используемые для экспертных оценок прогнозных ресурсов, оценок экономической значимости прогнозируемых новых месторождений и необходимых инвестиций на их освоение;

морфометрические и концентрационные, позволяющие путем целевого выбора ориентировок сокращать оценочные и разведочные сети до оптимального уровня без снижения достоверности получаемой информации.

Методические руководства по оценке прогнозных ресурсов — выпуски по коренным и экзогенным месторождениям золота, месторождениям никеля (с платиноидами), меди, свинца и цинка — основаны на принципе последовательного приближения, реализуемом в геологоразведочном процессе, при котором в иерархическом порядке выделяются металлоносные объекты разных рангов — потенциальные металлогенические зоны, рудные районы, рудные поля, потенциальные месторождения (рис. 3).

Методические руководства, как и справочное пособие к ним — Пространственно-металлогенические таксоны, учитывают комплекс признаков месторождений из системы моделей, имеющих различное выражение в разноранговых таксонах, а также ряд дополнительных критериев и признаков, позволяющих вычленив в геологическом пространстве потенциально рудоносные участки и исключить из прогнозно-поискового освоения бесперспективные площади. Методические руководства представляют собой нормативно-методическую и инструктивную базу для прогнозно-металлогенического районирования — предпроектного прогноза, оценки прогнозных ресурсов по категориям P_3 , P_2 и P_1 (по возрастающей достоверности) и определения приоритетности поискового освоения.

При количественных оценках прогнозных ресурсов используются геолого-промышленные и геолого-экономические модели месторождений, которые несут статистическую информацию о распределении месторождений по запасам, содержаниям полезных компонентов, оценочным горно-геологическим, технологическим и экономическим параметрам.

Модели и методические руководства служат научной основой и нормативно-методическим регламентом для периодических оценок и переоценок прогнозных ресурсов и их системного мониторинга. Оценка прогнозных ресурсов выполняется по результатам завершаемых геологоразведочных работ с учетом комплекса геологических и экономических факторов, что позволяет определить текущее и перспективное состояние отечественной минерально-сырьевой базы в масштабах всей страны и по ее регионам.

Оценка прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов в рамках данной системы была проведена трижды по состоянию: на 01.01.1998, 01.01.2003 и 01.01.2005 г. В этих оценках участвовал ряд организаций-соисполнителей, формировавших соответствующие информационные ресурсы на базе методических рекомендаций ЦНИГРИ. В процессе оценок прогнозных ресурсов был проведен глубокий анализ, выявлены главные факторы, влияющие на использование и воспроизводство минерально-сырьевой базы.

За указанный период проведения оценок прогнозных ресурсов (01.01.1998–01.01.2005) по результатам завершенных проектов геологоразведочных работ, выполненных по технологиям системы моделей месторождений — методических руководств, увеличена оценка прогнозных ресурсов (в условной категории С₂): Au на 567 т, МПГ — 105 т, Pb — 1112 тыс. т, Zn — 9168 тыс. т (табл. 1).

1. Динамика прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов Российской Федерации на 1998 г. (числитель) и 2005 г. (знаменатель)

Полезные ископаемые	Прогнозные ресурсы по категориям, в т.ч.:		
	P ₃	P ₂	P ₁
Au, т	<u>3486</u> 6964	<u>4528</u> 6614	<u>5033</u> 4253
Ag, тыс. т	<u>25,4</u> 54,5	<u>46,7</u> 50,0	<u>33,8</u> 25,6
МПГ, т	<u>19</u> 579,5	<u>323,5</u> 621,5	<u>494</u> 57,7
Cu, тыс. т	<u>10280</u> 14600	<u>29290</u> 22615	<u>27000</u> 9838
Ni, тыс. т	<u>2540</u> 3500	<u>13900</u> 6190	<u>5850</u> 1640
Pb, тыс. т	<u>1850</u> 4320	<u>5320</u> 7568	<u>1850</u> 2331
Zn, тыс. т	<u>4050</u> 16475	<u>9780</u> 31789	<u>3810</u> 8035

Выявлены и оценены рудоносные площади с прогнозными ресурсами кат. P₃, позволяющие создать резервную минерально-сырьевую базу на основе новых и нетрадиционных типов месторождений Au, Cu, Ag, МПГ. На перспективных площадях локализованы прогнозные ресурсы кат. P₂ и создан «поисковый задел» объектов для вовлечения их в лицензионное недропользование по воспроизводству минерально-сырьевой базы. Новые объекты с прогнозными ресурсами кат. P₁ подготовлены для получения приростов запасов и обеспечения, как минимум, простого воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов.

Оценка положения отечественной МСБ в системе текущего и перспективного мирового минерально-сырьевого обеспечения была дана в аналитических работах ЦНИГРИ и опубликована в ряде статей и докладов, а также в сводных обзорах «Минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов к 2025 г. Мир и Россия» (1998); «Минерально-сырьевая база на рубеже веков — ретроспектива и прогнозы» (1999) и др.

В этих работах на основе глубокого ретроспективного анализа (с 1950 и 1970 годов) были выявлены глобальные тенденции использования минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов в связи с другими полезными ископаемыми, определены векторы воздействия процессов глобализации и сбалансированного развития, тенденции и темпы роста мировой и отечественной минерально-сырьевой базы.

На этой информационной основе была создана монография «Национальная минерально-сырьевая безопасность» (2000), в которой разработаны базовые компоненты отечественной минерально-сырьевой политики в области использования и воспроизводства минерального сырья, оценены угрозы национальной минерально-сырьевой безопасности и предложены меры по повышению ее устойчивости.

По итогам аналитических исследований были разработаны основные мероприятия по укреплению отечественной минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов, прогнозы ее использования и воспроизводства до 2010 и 2020 гг., которые были включены в оперативную программу геологоразведочных работ на 2001 г., утвержденную Госгеолслужбой России.

Текущая и перспективная реализация разработанной системы обеспечивается мероприятиями «Среднесрочных (до 2010 г.) программ «Золото России», «Платина России», «Никель России» и подпрограмм «Цветные металлы России» (в рамках программы «Металлургическое сырье России»), одобренных научно-техническим советом Госгеолслужбы России, а также соответствующих разделов «Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья» (2005–2010 гг. и до 2020 г.), проект которой был одобрен на заседании Правительства России в ноябре 2004 г. и утвержден МПР России в 2005 г. Названные государственные документы включают меры по реализации федеральной минерально-сырьевой политики на ближнюю и дальнюю перспективу, обеспечивают переход отечественного воспроизводства минерально-сырьевой базы на программно-целевую систему управления в соответствии с «Основами государственной политики в области использования минерального сырья и недропользования», утвержденными 21.04.2003 г. распоряжением Правительства Российской Федерации № 494-р (рис. 4).

Разработанная система воспроизводства минерально-сырьевой базы реализуется через «Оперативные планы и проекты геологоразведочных работ», в которых конкретизируются средние и долгосрочные программные мероприятия, обосновываются приоритеты федеральных затрат на геологоразведочные работы на основе вовлеченности прогнозных ресурсов в геологоразведочный процесс.

Данные анализа вовлеченности прогнозных ресурсов в геологическое освоение и их распределение между федеральным бюджетом и средствами недропользователей имеют принципиальное значение для совершенствования правового поля недропользования в сфере освоения отечественных недр, а также повышения эффективности системы мониторинга недропользования (рис. 5). Оптимизация результатов геологоразведочных

работ на современном этапе заключается в том, что мерой эффективности использования бюджетных средств являются выявленные и оцененные объекты с прогнозными ресурсами, прошедшими соответствующий геолого-экономический фильтр и показавшие положительные инвестиционные параметры.

Научно-методическое сопровождение и обеспечение геологоразведочных работ реализует инновационные технологии прогноза, поисков и оценки месторождений по конкретным проектам работ.

Главный результат реализации системы — Воспроизводство МСБ и формирование фонда недропользования для прироста запасов с получением текущих и будущих минерально-сырьевых, экономических и социальных эффектов. При этом федеральный бюджет принимает на себя риски ранних стадий геологоразведочных работ, а оценка и разведка месторождений осуществляются за счет недропользователей.

Система создавалась в соответствии с Федеральной целевой программой на 2002–2010 гг. «Экология и природные ресурсы», подпрограмма «Минерально-сырьевые ресурсы», по госзаказам на научно-исследовательские работы, а также по внутренним планам ЦНИГРИ.

Система принята к использованию и реализована (в рамках сроков выполнения оперативных мероприятий среднесрочных и долгосрочных программ) Федеральным агентством по недропользованию, МПР России, секцией наук о Земле РАЕН, в практической деятельности ряда научно-исследовательских организаций, территориальных агентств, геологических предприятий и горнодобывающих компаний.

Основные положения работы были неоднократно доложены и получили одобрение на заседаниях секции геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы научно-технического совета МПР России (2002–2004), на заседании Коллегии МПР России (2004), а также рассматривались на ряде международных и всероссийских конференциях. Результаты исследований и итоги их реализации опубликованы; они отражены в 24 монографических работах, 29 научно-исследовательских работах, статьях и докладах, а также в 38 отчетах о НИР.

Эффект от реализации работы определяется ростом ресурсной базы благородных и цветных металлов, обеспечивающим прирост запасов для компенсации накопленной добычи за 2005–2010 гг., чем достигается расширение базы налогообложения и создание новых рабочих мест и в первую очередь в дотационных регионах России.

Экономическая эффективность реализации управления определяется через отнесение ценности выявляемых ресурсов недр к затратам федерального бюджета. В 2004–2005 гг. затраты составили 110–130 руб. на 1 руб. затрат, кроме того на 1 руб. привлекалось 5–6 руб. из внебюджетных источников. От аукционных сборов при передаче выявленных объектов недропользователям только в 2005 г. государством получено 1427 млн. руб.; на безаукционной основе недропользователям переданы для прироста запасов выявленные прогнозные ресурсы (в усл. кат. С₂) — золота 330 т, платиноидов более 100 т, никеля 230 тыс. т.

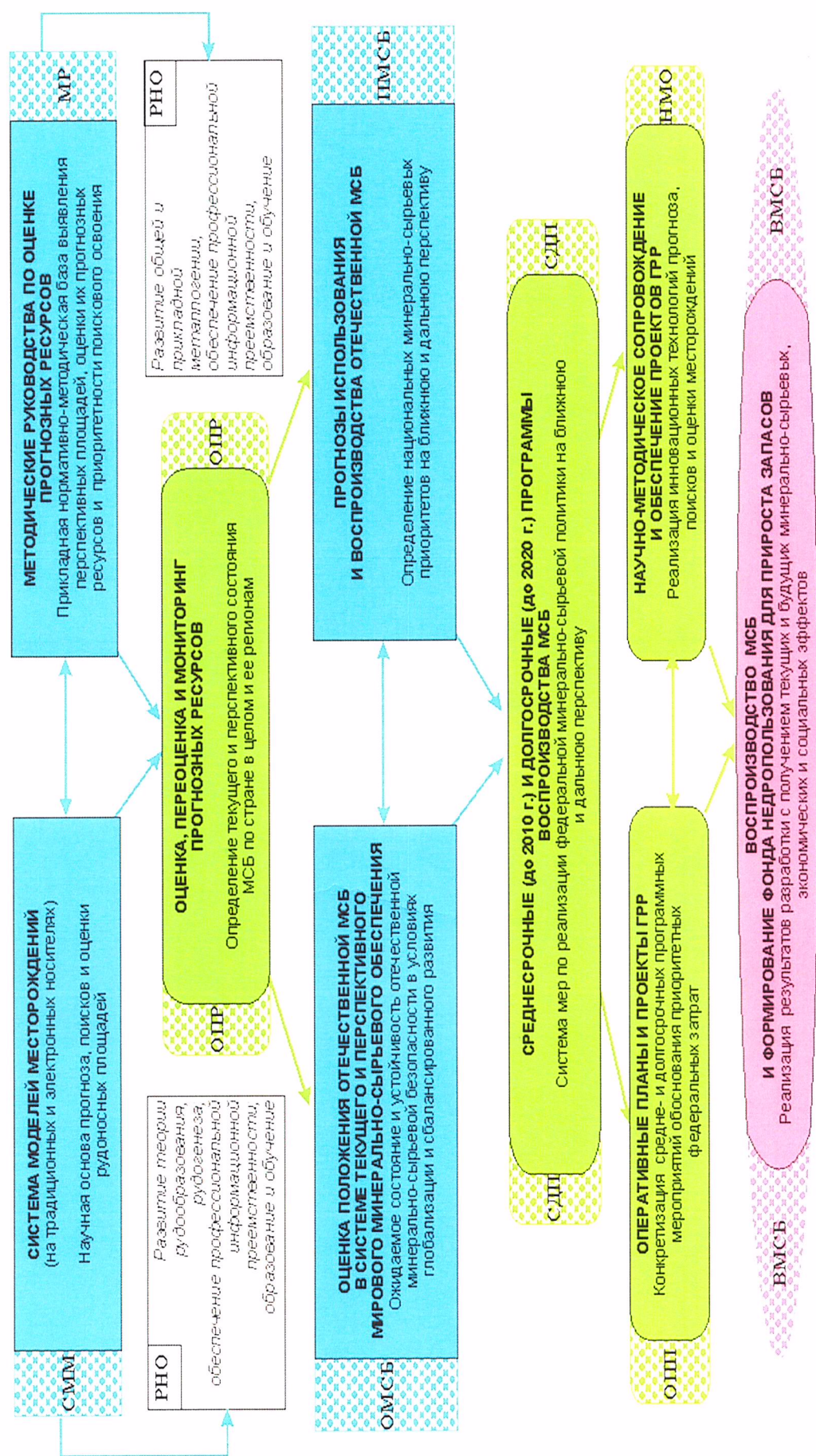


Рис. 1. Научное обоснование, создание и реализация системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации (блок-схема)

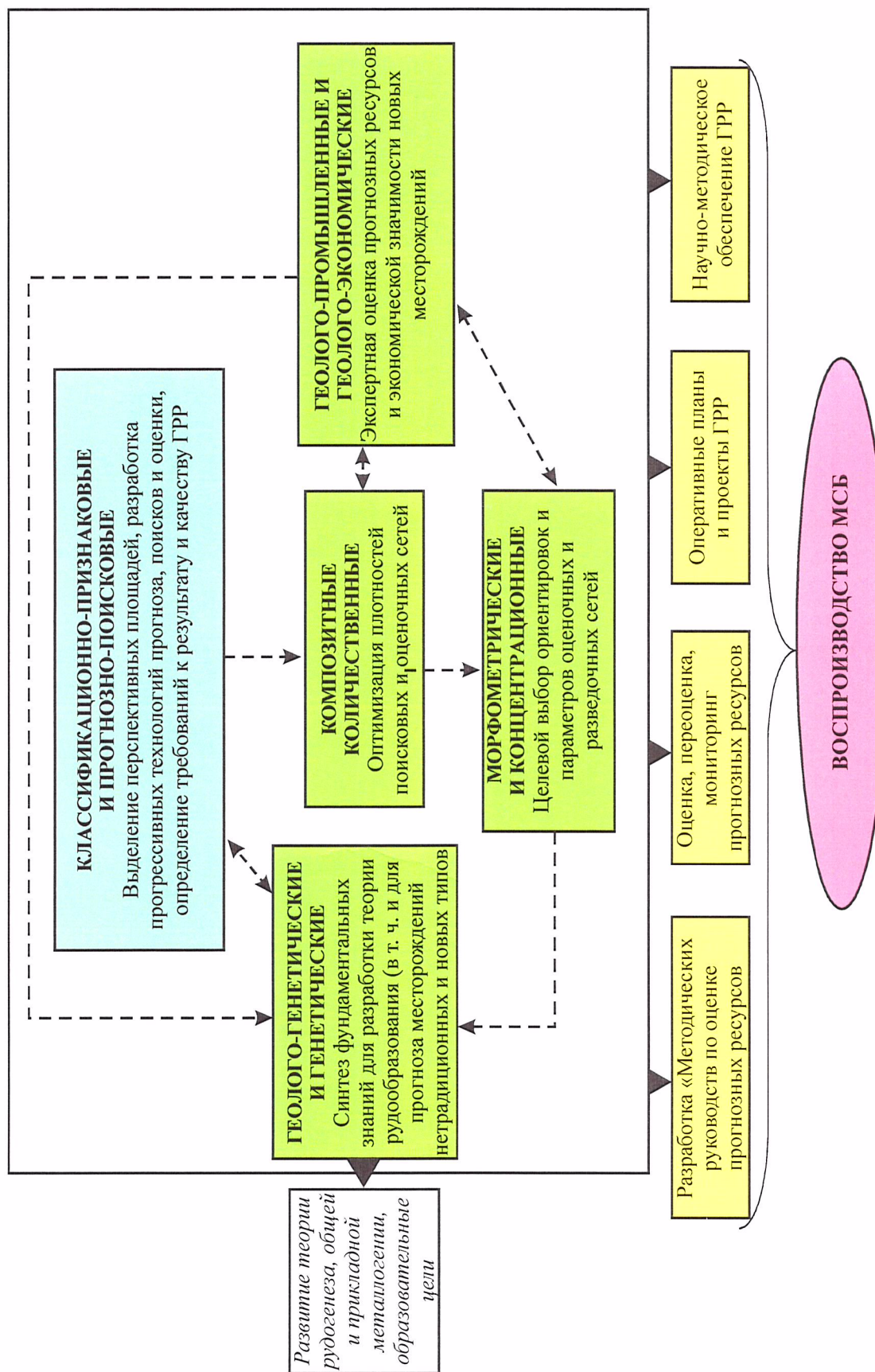


Рис. 2. Системы моделей месторождений цветных и благородных металлов

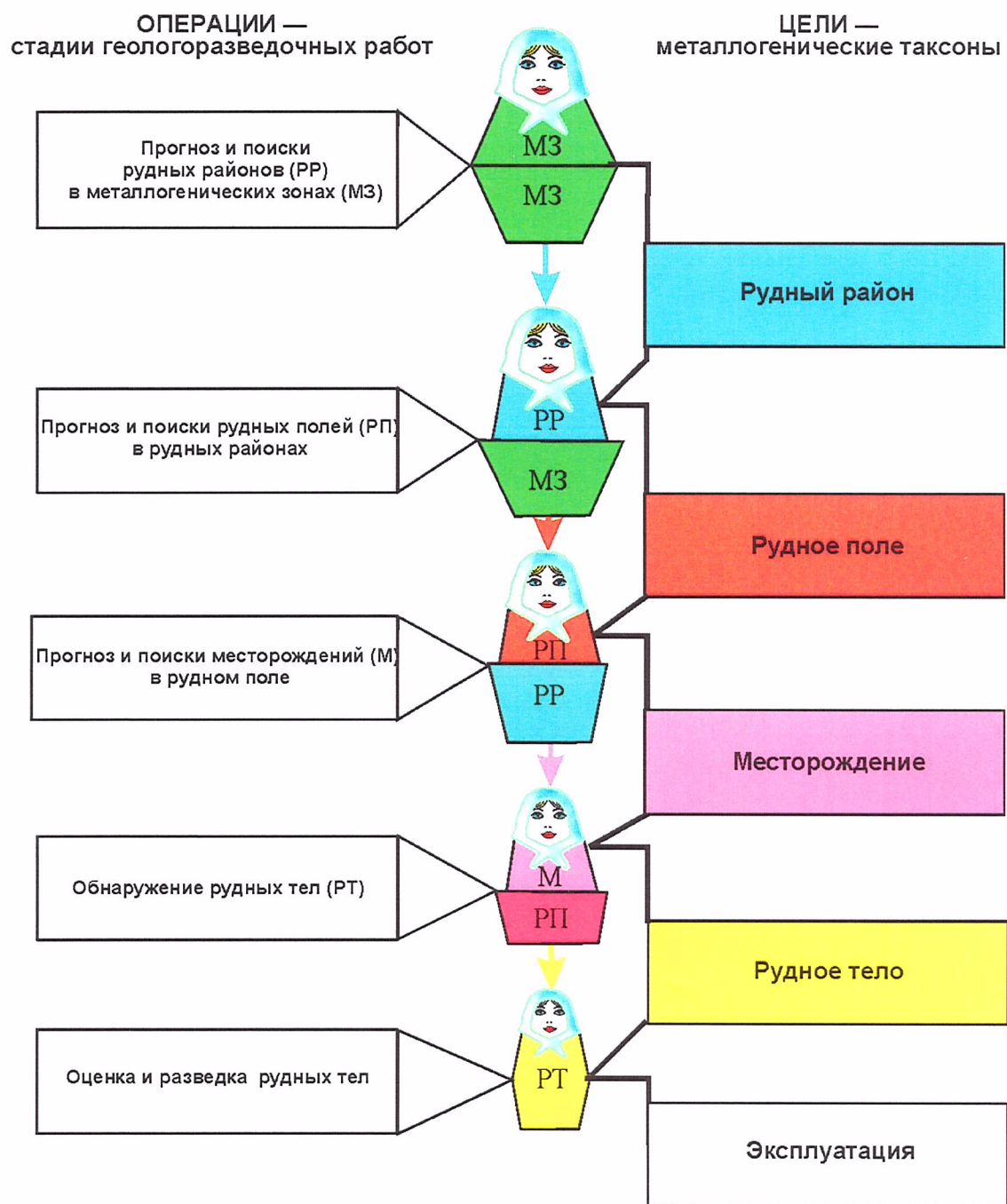


Рис. 3. Схема последовательного приближения при проведении геологоразведочных работ

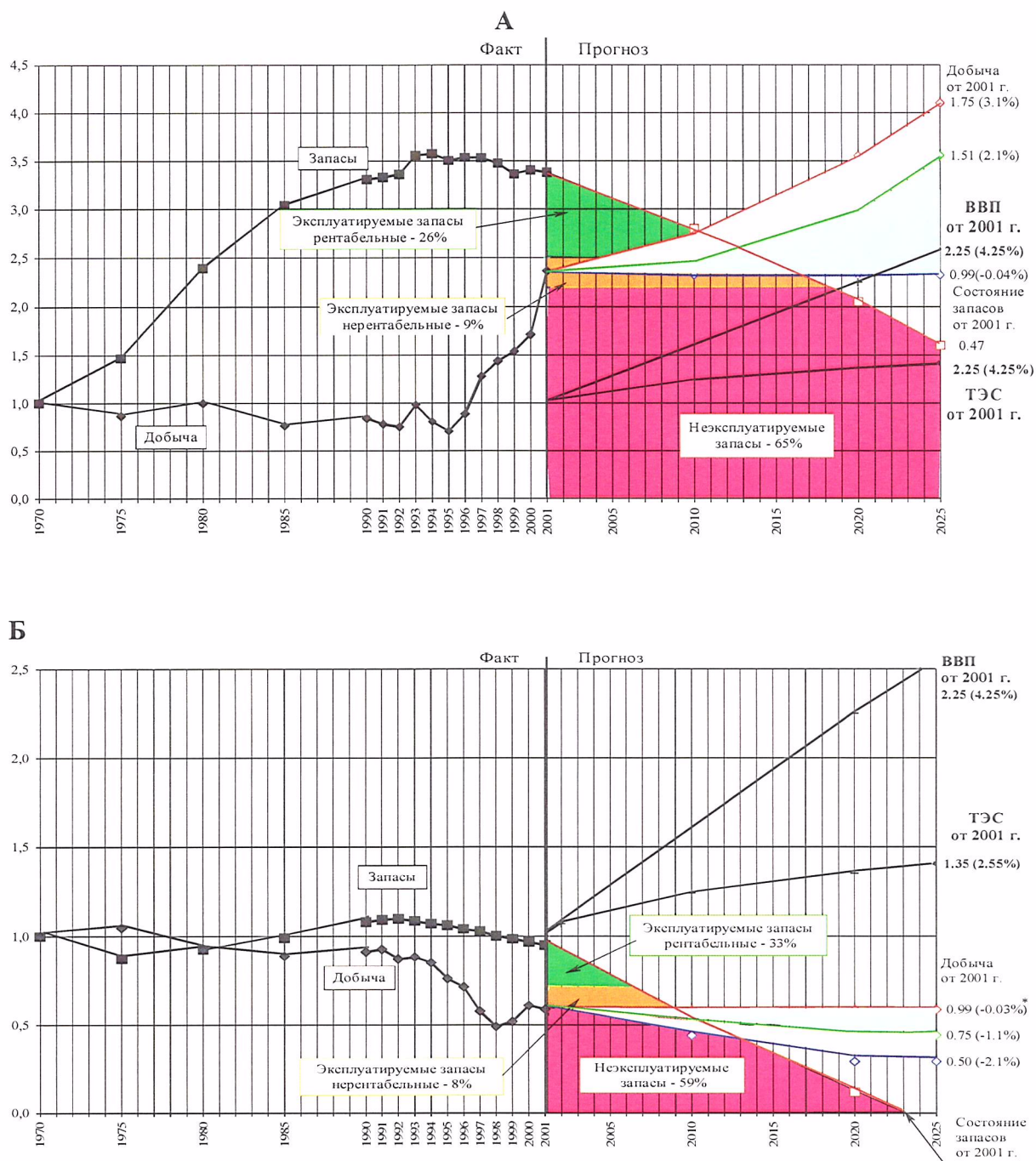


Рис. 4. Ретроспектива и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота коренных (А) и россыпных (Б) месторождений России:

уровни добычи от 1970 г. (черное) и прогноз от 2001 г. по вариантам (максимальный — красное, минимальный — синее, средний — зеленое); изменение состояния запасов 2001 г. (коричневое) по среднему варианту прогноза добычи. Данные по росту внутреннего валового продукта (ВВП) и производству топливно-энергетического сырья (ТЭС) из «Энергетической стратегии России» 2003 г. (* среднегодовые темпы)

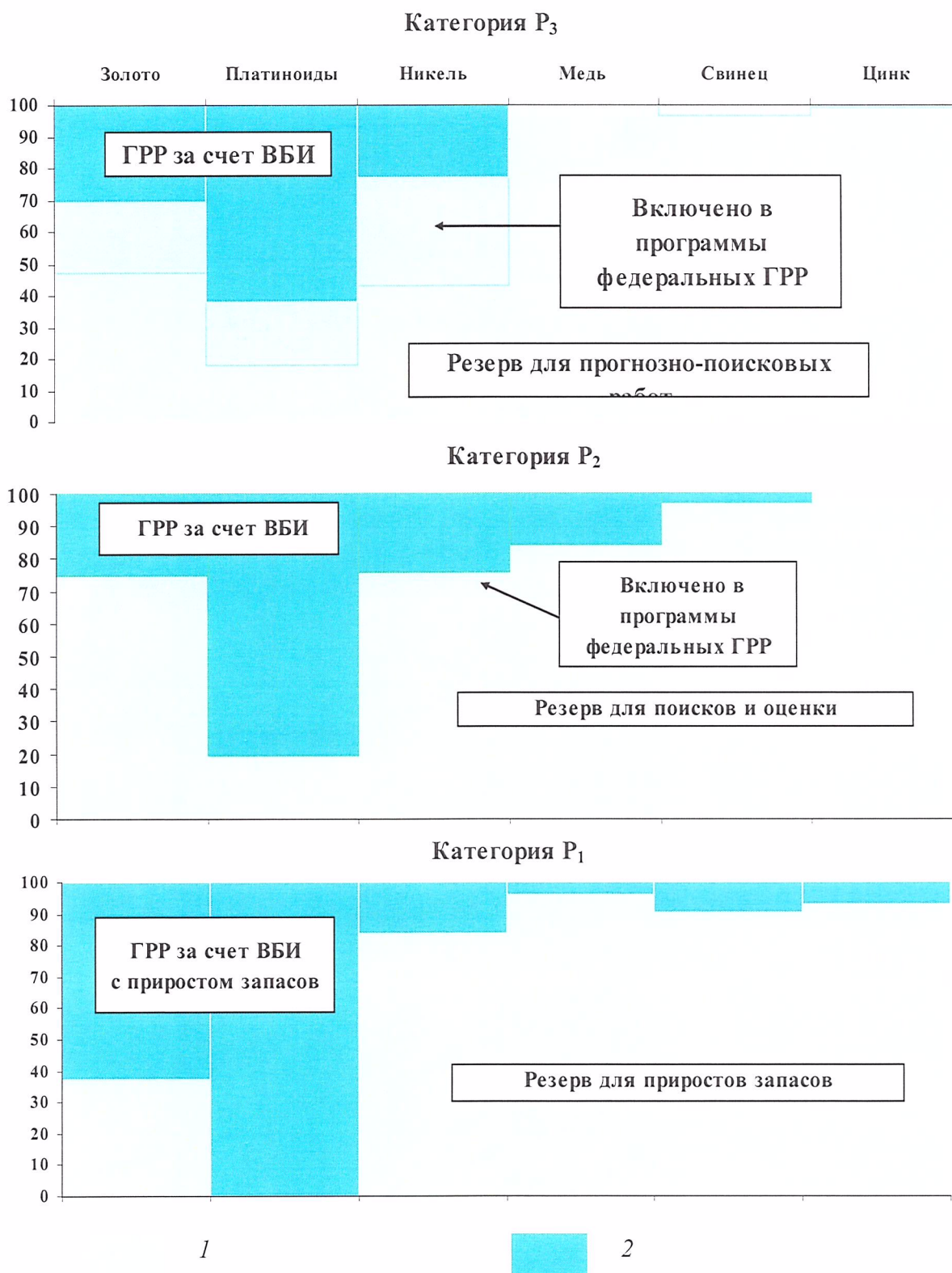


Рис. 5. Вовлеченность прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов в геолого-разведочные работы:
фонд: 1 — перераспределенный, 2 — распределенный; ВБИ — внебюджетные источники финансирования

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПРИКЛАДНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ

А.И.Кривцов (ЦНИГРИ)

Среди наук о Земле прикладная металлогения (минерагения) выделяется в первую очередь наибольшей приближенностью к решению прагматических задач текущего и будущего минерально-сырьевого обеспечения человечества в силу существенного влияния достижений этой отрасли естественно-научной сферы на успехи геологоразведочных работ и их результативность. Прямые и обратные связи между металлогеническими (прикладными) построениями и практикой их использования создают объективные предпосылки для постоянного взаимного развития и совершенствования. Успехи поисковых работ, накопленные в последние десятилетия, во многих странах мира создали иллюзорное впечатление о неисчерпаемости выявленных богатств недр и легкости новых открытий. Вследствие этого прикладная металлогения, как и геология вообще, постепенно оказалась в состоянии «наказания за успехи», потеряв значительную часть общественного признания и внимания, включая и экономические стимулы развития.

Даже в проблеме сбалансированного развития человечества и интенсификации процессов глобализации прикладная металлогения и геологоразведочные работы вместе оказались в тени экологии, экономики, социологии. К тому же само геологическое сообщество не проявляет должной общественной активности как бы признав рожденное в собственной среде положение о завершении «золотого века» геологии.

В этой ситуации более чем странным кажется высказывание, опубликованное в газете «Поиск» от 20 января 2006 г. «Геология в последние годы наконец-то стала «логичной», т.е. наукой. Долгое время это была геогнозия — описание увиденного, полунаука, полуйскусство. Говорили: сколько геологов, столько и мнений. Ничего подобного! За рубежом, где отбор достаточно жесткий, плохих геологов практически не осталось (*а у нас?*), поэтому на каждом обнажении или одно мнение, или не хватает данных, чтобы его составить, неоправданные предположения редки».

Получается, что у российских плохих геологов осталось больше, из-за чего нет единства мнений. Поскольку неоправданных предположений в отечественной геологии еще много, то она по-прежнему находится в стадии полунауки, полуйскусства. Однако ничего страшного в этом нет, так как в геологии вообще очень много непознанного, а в реальной практике геологоразведочных работ обычна необходимость принятия решений в условиях недостаточной определенности. Этому, в частности, отвечает использование в прогнозных построениях теории размытых множеств (А.Н.Бугаец и др.).

Недостаточность необходимой «научности» прикладной металлогении на современном ее этапе определяется среди прочего отсутствием общности действий различных школ, информационным разрывом между разными поколениями, несоблюдением уже созданных терминологических норм и некорректностью использования как металлогенических, так и сопряженных понятий.

Многие годы Межведомственный совет по рудообразованию, руководимый В.И.Смирновым, периодически проводил общесоюзные металлогенические совещания, на которых обсуждались наиболее актуальные проблемы металлогении, фиксировались достижения и определялись приоритеты дальнейшего развития в форме решений и рекомендаций. По итогам совещаний издавались сборники ключевых докладов «Закономерности размещения месторождений». Эта традиция в настоящее время оказалась забытой. По итогам ряда частных конференций и совещаний с избыточно широкими названиями издаются тома тезисов, не связанных какими-либо смысловыми и гносеологическими основами. Само слово «закономерности» практически исчезло даже из названий статей, вероятно, как следствие реализации принципов распределенной или рассеянной ответственности (безответственности).

Хорошо известно, что основу любой науки составляет ее язык — общепринятые термины и понятия, без которых невозможно однозначное восприятие описываемых явлений и процессов. К сожалению, терминологический туман в металлогении все более сгущается не только за счет некорректного использования наиболее общих понятий, но и из-за эклектического употребления (в угоду моде) плейт-тектонических терминов, даже в тех случаях, когда требуется конкретное описание наблюдаемого геологического пространства (структурно-вещественных комплексов). Если так или иначе упоминаются гранитоиды, то их не делят по формационным и петрологическим принципам, а относят к коллизионным и постколлизионным. В итоге теряется содержательное описание геологического вещества, без чего невозможны достоверные и воспроизводимые генетические и металлогенические построения.

В начале 1990-х годов был издан словарь-справочник «Термины и понятия отечественного недропользования», недавно вышел «Российский металлогенический словарь» (2002), переведен и издан «Толковый словарь английских геологических терминов» (2002), но все это основной массой геологических авторов, «практикующих» в сфере прикладной металлогении, почти не используется, вследствие чего мы все меньше понимаем и поддерживаем друг друга. Странно читать в работе серьезного исследователя «оруденение представлено пятью месторождениями». Даже в солидных журналах появляется и закрепляется слово «сульфидизация» («класс сульфидов > 200 минералов»); свободно гуляют «рифтинги», «тектонизированные породы», «березитоиды», окварцованные породы называются вторичными кварцитами (вовсе не по Н.И.Наковнику) и т.д.

В описаниях месторождений становится все меньше наблюдаемой фактографии; часто трудно найти даже самые общие характеристики рудовмещающих пород, но зато описываются террейны, в которых находятся месторождения. Стало трудно отличать по содержанию статьи из «Геологии рудных месторождений» от статей из «Геохимии». Современные аналитические методы позволяют получать уникальные данные, но на их основе нередко формируются тривиальные для химии выводы о том, что тот или иной элемент переносился в хлоридной форме; даются пространные обоснования того, что

рудоносные флюиды могут иметь двойственную природу. Очень многие генетические построения, направленные на объяснение того, *как* возникли месторождения, практически невозможно привлечь для решения задачи — *где* их искать. Лавина изотопных датировок создает ложное впечатление достижения геохронологической истины. При этом замалчивается то очевидное обстоятельство, что любое более или менее древнее месторождение испытало воздействие последующих тектоно-магматических событий, включая и флюидное воздействие на руды с неизбежным нарушением исходных изотопных равновесий. Для природного ядерного реактора Окло установлено три акта запуск — остановка; постоянство длительности суток и земных лет уже давно и квалифицированно опровергается.

Формации руд и рудные формации месторождений (первые — минеральные, вторые — металлогенические) нередко бессмысленно противопоставляются друг другу. Так, золоторудные месторождения обычно разделяются на золотокварцевые и золотосульфидные с теми или иными нюансами детализации. Золотокварцевые месторождения — это месторождения кварца, «загрязненного» золотом. А золотосульфидные — от колчеданных до медно-порфировых. Рудно-формационная систематика золоторудных месторождений требует (в интересах прикладной металлогении) введения дополнительной атрибутики, отражающей вмещающую среду и обстановки нахождения месторождений.

Рудно-формационный анализ в общей и прикладной металлогении — несомненное достижение отечественной геологической службы, долгие годы располагавшей уникальным фактографическим обеспечением. Классификация геологических формаций по роли в рудогенезе, принятая Алмаатинским металлогеническим совещанием по разработкам ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ, ГИН КазССР, требовала выявления комплекса признаков рудогенерирующих, рудоносных и рудовмещающих геологических формаций. В соответствии с этим в ИМРГЭ были начаты исследования по геохимии геологических формаций, которые уже по первым результатам показали свою значимость как для фундаментальных, так и для прикладных металлогенических (и не только) построений. Геохимические «портреты» геологических формаций важны для проблемы источников вещества, поисковой геохимии, объективных оценок исходного состояния среды обитания. Однако инициатива ИМРГЭ постепенно угасла не по вине исследователей, а преемственность не возникла.

В последние годы исследования в области прикладной металлогении оказались под интенсивным воздействием новых финансово-организационных форм в государственном секторе науки — гранты и госзаказы, которые по своей сути весьма далеки от возможности развития «безумных» идей (Н.Бор «Перед нами безумная идея; вопрос в том, настолько ли она безумна, чтобы стать верной.»).

Система грантов, кроме избыточного изобилия формальностей и ориентации на заданный круг исследователей, обладает еще и жесткостью неписанных правил: «грантовзятцы» так или иначе ориентируются на научные позиции «грантодателей» и следуют соответствующими курсами. Индексы цитирования ограничивают свободу выбо-

ра путей исследования — надо ссылаться на того, на кого надо ссылаться, на те, а не на другие научные школы. Недавно родился злой анекдот о том, что в наше время очень просто создать «избранные труды» — взять базовую статью и приложить перечень грантов, по которым проходили ее различные версии.

В отраслевой геологической науке конкурсы на госзаказы в первую очередь ориентированы на обеспечение управляющих функций федеральных органов власти; работы в сфере рискованного научного поиска представлены буквально единицами, ставятся на короткие сроки и в целом не поощряются. Следует признать, что возможности фактографического обеспечения отраслевой науки существенно возросли с введением в Роснедра системы научно-методического обеспечения геологоразведочных работ. Однако обилие организационной работы, возлагаемой на исследователей, снижает возможности развития перспективных разработок. В ЦНИГРИ введена система работ по внутреннему плану с целью создания научного задела, но масштабы таких исследований вынуждено ограничены.

В «Долгосрочной государственной программе...», утвержденной МПР России в 2005 г., выделены научные приоритеты в сфере воспроизводства минерально-сырьевой базы до 2020 г., но они далеко не в полной мере реализуются в оперативных планах геологических научно-исследовательских работ. Министерство природных ресурсов России недавно создало научно-технический совет, а Роснедра — экспертно-научный совет. Остается надеяться, что это не просто уважительные жесты в сторону науки, а реальная возможность учета понимания ее современных реалий.

В решении проблемы устойчивого текущего минерально-сырьевого обеспечения и создания новых минерально-сырьевых баз в интересах будущих поколений определились два главных направления. Первое из них отражает постепенное снижение содержаний металлов в рудах новых месторождений, что пока еще допускают прогрессивные технологии добычи и переработки минерального сырья, не достигшие естественно-энергетического барьера. Снижение значений промышленных содержаний некоторых металлов естественно сопровождается увеличением их запасов — появлением «убогих» по содержаниям, но уникальных по объемам горной массы «гигантов». Отметим, что в 2005 г. в мировых запасах золота (без ЮАР, КНР и РФ) 30% приходилось на месторождения с содержаниями Au от 0,3 до 1,0 г/т; больше 15% — > 1–2 г/т. В 11 зарубежных золоторудных месторождениях, отнесенных к сверхкрупным, учтено около 9740 т золота при его среднем содержании 1,24 г/т. На этих месторождениях руды, подлежащие извлечению, обладают объемом около 5 км³, что эквивалентно отвалам высотой 10 м, размещенным на площади свыше 500 км² (!). Напомним, что на одного человека в мире приходится около 2 га суши. Рано или поздно встанет вопрос о том, что дороже — золото или земля для отходов его добычи. Пока эта проблема решается под зонтиком глобализации путем переноса горнодобывающих предприятий из стран, достигших состояния постиндустриального развития в страны, только встающие на путь собственно индустриального развития.

Весьма примечательно то важное обстоятельство, что значительная часть современной горнодобывающей промышленности отрабатывает не руды (в строгом смысле этого слова), а минерализованные породы. Весьма показательны в этом отношении золоторудные месторождения типа Карлин, которые фактически «сделали» не геологи, а химики, научившиеся определять концентрации тонкодисперсного золота, и технологи, создавшие процессы массового кучного выщелачивания.

Д.Кукс с соавторами (2004) разделили 25 крупных месторождений медно-порфирового семейства по запасам меди на супергиганты > 10 млн.т и «бегемоты» до 100 млн. т; по запасам золота на гиганты (400–1200 т) и супергиганты (1200–2600 т). При этом в медных супергигантах и «бегемотах» содержания меди не превышают 0,75%, а в золотых концентрации Au не достигают 1 г/т (начиная от 0,1 г/т). Эти гиганты, супергиганты и «бегемоты» входят в конечные составляющие непрерывного ряда месторождений, начинающегося с запасов меди в первые сотни тысяч тонн, в связи с чем представляется сомнительной целесообразность выделения крупных и сверхкрупных месторождений в объекты особой научной проблемы.

В работе В.А.Дунаева (2006), обобщившего результаты исследований золотоносности железистых кварцитов КМА, показано, что по имеющимся оценкам прогнозных ресурсов золота многие железорудные месторождения должны относиться к весьма крупным, однако огромные массы таких руд содержат Au не более 0,05 г/т, которое недоступно для извлечения.

Несмотря на все изложенное, первой актуальной задачей прикладной металлогении остается прогноз скоплений рассеянной минерализации не только медно-порфирового и карлинского типа, но и принципиально новых.

Второе направление — увеличение глубины поисковых работ для обнаружения месторождений, значительно удаленных от дневной поверхности. Соответственно, эффективность поисков прямо зависит от достижений прикладной металлогении в сфере выявления признаков надрудных частей рудообразующих систем. За последние годы появились убедительные данные о том, что современные геотермальные поля отвечают зонам разгрузки ныне живущих рудообразующих систем. В островных обстановках выделены также участки их субмаринной разгрузки с частичным рудонакоплением. В рудообразующих системах геологического прошлого такие внешние зоны пока надежно не установлены, а прогнозно-поисковое значение рудно-магматических систем с комплексной металлогенией пока не оценено в должной мере. Этим определяются соответствующие задачи прикладной металлогении.

В 1989 г. в серии «Доклады советских геологов» к Вашингтонской (XXVIII) сессии Международного геологического конгресса (МГК) по инициативе и под редакцией академика В.И.Смирнова был издан сборник «Рудообразующие процессы и системы». Поскольку к этому времени Геологической службой США уже были разработаны описательные модели рудных месторождений, перед авторами были поставлены задачи создания гносеологических и методических основ теории рудогенеза для последующей их

реализации в комплексных прогнозно-поисковых моделях. Эта задача была решена, сборник привлек внимание делегатов упомянутой сессии МГК, однако с течением времени принципиальные положения работы были весьма ограниченно развиты в отечественных исследованиях, что можно объяснить воздействием комплекса как объективных, так и субъективных факторов.

Рудообразующие системы в наиболее общем случае объединяют источники рудного вещества, транспортирующих агентов и энергии; пути транспортировки носителей рудного вещества; области разгрузки носителей и накопления рудного вещества; области рассеивания транспортирующих агентов (рис. 1). Такие системы по структуре и принципам действия сопоставимы с медицинскими и другими шприцами. Рудообразующие процессы описывают динамику перемещения рудного вещества в таких системах, его накопление в рудных телах и рассеивание в прилегающем пространстве.

Стереотипы, возникшие при изучении жильных месторождений, которые находятся над интрузивными телами, предполагают субвертикальное положение осей рудообразующих систем. Однако на самом деле это зависит от природы данных систем как и конкретное выражение их основных элементов. В собственно плутогенных (внутриинтрузивных) системах носители вещества — сами расплавы, перемещение которых и обособление рудных масс определяются механизмами внедрения магматических тел и их эволюции. В околоинтрузивных системах с жильными и штокверковыми месторождениями решающая роль принадлежит флюидам различной природы, мигрирующим под воздействием тепловых полей магматических тел. Для стратиформных и стратоидных месторождений не без оснований в качестве источников рудного вещества принимаются его рассеянные концентрации, мобилизуемые разогретыми водами рециклинговых систем, элизионными водами (эксфильтрация), а также метаморфическими водами. Во всех таких случаях оси рудообразующих систем могут иметь ориентировку, задаваемую свойствами рудоносной среды, при широких размахах протяженности систем.

Важно отметить принципиальные отличия рудоносных систем, развивающихся в осадочных толщах, которые несут стратиформные и стратоидные рудные тела (включая и залежи вкрапленных руд). Для них решающее значение имеют методы седиментологии, литолого-фациального анализа, а также постседиментационного литогенеза, систематизированные основы которого недавно изложены О.В.Япаскуртом (2005). Такие методы мало используются геологами-рудниками, исходящими из классических стереотипов, хотя литолого-стратиграфические критерии и признаки учитываются в практике прогнозно-поисковых работ.

В генетических построениях моделей гидротермальных месторождений продолжается дискуссия об источниках рудоносных растворов (флюидов), в которой нередко доминирует ортогенетическая модель («выдавливание флюидов по капле» из интрузивов и даже из мантии). В связи с этим уместно привести отдельные положения работы Л.Н.Овчинникова (Рудообразующие процессы и системы, 1989. С. 35–37).

«Месторождения рождаются в результате взаимодействия веществ в системе вода —

порода. В ходе рудообразования вода роднит процессы метаморфизма и магматизма, метаморфизма и осадкообразования, процессы эндогенные и экзогенные, мантийные и коровые.»...

«Флюиды играют громадную роль в планетарных эндогенных геологических процессах, их значение далеко еще не оценено. Флюиды имеют разные происхождение и первоисточники. Они меняют облик земной коры, ее слоев и зон... Могут быть выделены по крайней мере четыре главных генетических типа флюидов, заметно преобразующих толщи первичных горных пород земной коры: интрателлурические, метаморфизма и диагенеза, рецикличные океанические, постмагматические. К ним могут быть добавлены и метеорные (поверхностные) воды, активно действующие в пределах первых 5—8 км земной коры. Масштабы деятельности всех типов вод и их значение в геологических процессах весьма различны при общей, зачастую конвергентной схожести результатов воздействия и возникающих новообразований.»...

«Магматические (постмагматические) флюиды, так же как и продукты их деятельности, локально распространены широко. С ними связано образование различных групп эндогенных месторождений. Однако масштабы их деятельности относительно невелики и значительно ограничены в пространстве по сравнению с деятельностью флюидов иного происхождения. Среди последних в первую очередь выделяются интрателлурические флюиды и особенно флюиды, образующиеся в связи с циркуляцией вод океанического происхождения.»...

«Некоторые группы стратиформных сульфидных месторождений возникают при диагенезе в результате мобилизации металлов синседиментационными поровыми водами, а также захороненными реликтовыми водами, которые в эвапоритовых средах мобилизуют металлы и из эвапоритов. В сборе и извлечении могут участвовать также и грунтовые (метеорные) воды пластовой циркуляции.»

К этим концептуальным положениям трудно что-либо добавить, кроме пожелания их максимального учета в металлогенических построениях.

Субмаринная конвективно-рециклинговая модель мобилизации, концентрирования и «остаточного рассеивания» ряда рудообразующих элементов с течением времени стала основой построения схем глобального металлогенеза, что наиболее полно отражено в недавних обобщающих работах А.П.Лисицына и А.М.Сагалева; О.Т.Сорохтина, В.И.Старостина, Н.О.Сорохтина; Е.П.Дубинина и С.А.Ушакова. Упомянутые публикации, основанные на результатах исследований как самих авторов, так и многих других геологов, широко использованы в следующих ниже формулировках глобальных общеметаллогенических последствий миграции вещества в субмаринных конвективно-рециклинговых системах.

Наиболее существенными представляются следующие базовые положения:

1. Эволюция мантийного вещества за 4 млрд. лет тектонического развития Земли обусловлена интенсивными конвективными потоками с перемешиванием исходного материала, ставшего в итоге относительно однородным и в целом обедненным подав-

ляющим большинством рудообразующих элементов, исключая остаточные концентрации хрома, т.е. хромитов. Следствием этих процессов считается не только обеднение мантийного вещества большинством рудообразующих элементов при отсутствии их локальных скоплений, но и практически полная его обезвоженность — содержания воды не превышают 0,05%.

2. Первое положение исключает возможность существования мантийных флюидных потоков, выносящих металлы в области реально наблюдаемого рудонакопления. Указанные выше авторы для объяснения процессов рудогенеза принимают модель ступенчатого концентрирования рудного вещества в земной коре — начальные стадии таких процессов приходится на формирование базальтового слоя в рифтовых зонах океана (океанов).

3. Субмаринные гидротермальные (геотермальные) системы, картируемые по зонам истечения восходящих потоков, выводят более 30% эндогенного тепла Земли при интенсивности водообмена $2300 \text{ км}^3/\text{год}$.

4. В конвективно-рециклинговых системах осуществляется тепло- и массообмен в глобальных масштабах. При этом только часть мигрирующих элементов связывается в новообразования в измененных породах и рудных телах, а остальные выводятся так называемыми плюмажами (факелами) в океанические воды. Вследствие чего так или иначе должны происходить изменения состава океанических вод, в которые выносятся кремнезем, кальций, магний, натрий и калий, частично, как хорошо известно, накапливающиеся в эвапоритах окраинно-континентальных бассейнов.

5. Решающая роль в сульфидообразовании на дне океана отводится сероводороду, формирующемуся не только за счет мантийной серы, но и за счет сульфатов морской воды (главным образом), восстанавливаемых при реакциях с метаном, который генерируется при гидратации океанской коры.

6. Широкая гамма рудообразующих металлов, выводимых на океаническое дно, в еще не известных пропорциях распределяется между участками рудонакопления на выходах источников, зонами их периферии (металлоносные «ореольные» океанические осадки), а также «надрудными» водами (металлоносные факелы над источниками, мигрирующие в придонных водах с неизвестными пока закономерностями). Достаточно очевидна возможность выведения этих факелов на фланги бассейнов (особенно в зонах рассеянного спрединга) с миграцией и осаждением по модели апвеллинга в прибрежно-морских обстановках.

7. На стадии субмаринного рифтообразования, кроме массивных колчеданных руд, возникают зоны разнообразного концентрирования рудного вещества, которое при тектономагматических процессах на континентальных окраинах вовлекается в последующие процессы обогащения корового материала, а также выноса и накопления при собственно континентальных (коровых) рудообразующих процессах. Для них также допускается флюидообеспечение систем за счет водонасыщенных отложений, как по эксфильтрационной модели, так и по «континентальным» вариантам конвективно-рециклинговой модели.

Изложенное вовсе не исчерпывает возможные варианты миграции и мобилизации рудного вещества, изначально поступающего из конвективно-рециклинговых систем. Представляется, что именно такие системы выступают как «родоначальницы» первичных скоплений многих элементов в осадочных толщах континентальных склонов и шельфов. Соответственно, вследствие процессов экстракции, перемещения, накопления и рассеивания рудного вещества под воздействием субмаринных конвективно-рециклинговых систем происходит начальное концентрирование ряда металлов в породах, участвующих в принципиально иных, как правило, более поздних процессах рудогенеза.

Вполне вероятно вовлечение вещества «плюмажей», питаемых «курильщиками», в восходящие потоки морских вод по модели апвеллинга. Допускается поступление рудного вещества не только в донные металлоносные отложения, но и в краевые части формирующихся карбонатных платформ, включая зоны рифообразования и циановых водорослевых матов. Соответствующие реакции осаждения рудного вещества обеспечивают его начальное концентрирование (первичную рудоносность), чем создаются исходные предпосылки для формирования руд в континентальных условиях по эксфильтрационной, плутоногенной рециклинговой и метаморфогенно-гидротермальным моделям.

В работе Я.М.Кислякова и В.Н.Щеточкина «Гидрогенное рудообразование» (2000) для ряда стратиформных и стратоидных месторождений всесторонне рассмотрены механизмы экстракции рассеянного рудного вещества, его переноса и отложения под воздействием эксфильтрационных потоков межпоровых (остаточных) и элизионных вод. Движение таких вод связывается с комплексом факторов: уплотнением осадков (компактизация), давлением вышележащих толщ, разностью пьезометрических уровней и др.

Среди продуктов плутоногенных рудообразующих систем особое внимание привлекают месторождения в расслоенных интрузивах и в первую очередь месторождения Норильского района, обладающие уникальными запасами платиноносных медно-никелевых руд. Широко известный исследователь этих месторождений А.Налдретт в монографии (2003) показал, что в такого рода системах возникают несмешиваемые сульфидно-силикатные жидкости, которые при движении разделяются в гравитационном поле под воздействием собственно гидродинамических факторов. Значительно раньше А.П.Лихачев продемонстрировал зависимость распределения сульфидных масс в Талнахском интрузиве от изменений площадей его поперечных сечений.

В связи с этим представляет интерес распределение платиноидов в одной из россыпей Корякии, изученное В.И.Куторгиным (рис. 2). Продуктивность россыпи, выраженная в линейных запасах, обнаруживает зависимость от перепадов мощности платиноносного пласта, который во время формирования представлял собою водно-породную смесь, несущую платиноиды, которые накапливались под воздействием гравитационного фактора при изменении гидродинамических характеристик потока.

А.И.Кривцов с соавторами (2002) показали, что массивные сульфидные руды Талнахского интрузива (ТИН) представляют собой продукт слияния сульфидных «капель» (через промежуточные «овоиды») и накапливаются в придонных частях интрузива при

пережимах его мощности на перегибах рельефа его основания (рисунки 3 и 4). Зона наибольшего сульфидонакопления тяготеет к северному склону поперечного выступа палеозойского основания — Пясинский вал, который может рассматриваться в качестве своеобразного подпора («плотины»). Норильские интрузивы, располагающиеся за южным склоном поднятия, несущие преимущественно вкрапленные руды, автор склонен рассматривать как продолжение к югу Талнахского интрузива, отделенное от последнего эрозионным окном шириной около 10 км. При этом допущении «первичная» длина Талнахско-Норильского интрузива должна составлять не менее 60-70 км, что сопоставимо с протяженностью рудоносных частей Великой Дайки.

Для стратифицированных и стратоидных месторождений цветных металлов в работе Дж.Нельсона (2002) по Канадским Кордильерам демонстрируется существование латеральных (с запада на восток) рядов месторождений: VHMS → SEDEX → MVT при наличии общих временных интервалов их формирования (рисунки 5 и 6). Обоснованные по комплексу данных пространственно-генетические связи рассматриваемых месторождений объясняются двумя возможными моделями рудогенеза. Первая из них допускает существование ветвей конвективно-рециклинговых систем с восхождением рудоносных растворов в отложения перикратонных бассейнов по пологим разломам или по высокопроницаемым горизонтам обломочных пород. Вторая модель (эксфильтрационная) исходит из возможности высвобождения и восходящей миграции флюидов при усадке («компактизации») пород бассейна. Принятие второй модели требует объяснения происхождения рудного вещества, находившегося в отложениях до начала эксфильтрационной мобилизации. Представляется наиболее вероятным отнесение начальных концентраций металлов к процессам их выноса субмаринными гидротермальными плюмажами на фланги колчедановых рифтов — во внешние части перикратонных прогибов по модели апвеллинга.

Э.Л.Школьников с соавторами (2004) на ряде примеров показали, что в циановых матах интенсивно накапливается золото, что отражается в его биоморфизме. Среди обстановок, наиболее благоприятных для начального накопления рассеянных концентраций золота, Ф.Р.Лихт (2001) выделяет апвеллинговые зоны повышенной биопродуктивности. Этим исследователем допускается перенос золота в форме хлор-ионов с последующим образованием металлоорганических соединений. Уместно вспомнить малоизвестные работы Р.А.Амосова (ЦНИГРИ), которому удалось получить уникальные фотографии замещения золотом различных микрофоссилий, скорее всего входивших в биоту циановых матов.

За последнее десятилетие на северо-западе провинции Сычуань в Китае в осадочных толщах среднего–позднего триаса были открыты и детально изучены многочисленные месторождения золота, руды которых обладают всеми признаками сингенетичного накопления с частичной последующей ремобилизацией и переотложением под воздействием собственно тектонических процессов.

С.Гу с соавторами (2002) полагает, что эти месторождения близки к так называемо-

му карлинскому типу. Показано, что слабо метаморфизованные турбидитные рудовмещающие толщи состоят из ритмично переслаивающихся известковых песчаников, аргиллитов и алевролитов. Рудная минерализация контролируется пачками, отличающимися высоким содержанием органогенного вещества и развитием диагенетического пирита. Пласто- и линзообразные рудные залежи подчинены стратификации и прослеживаются по простиранию на сотни метров. Распределение пирита в ряде случаев подчиняется градационной слоистости. Собственно сингенетичные руды характеризуются тонким переслаиванием сульфидов (пирит, арсенопирит, реальгар, стибнит) с обломками кварца, кварцитов и скоплениями графита. В зонах деформаций установлены переходы этих руд в тонкопрожилковые и штокверковые с ростом содержаний золота. С.Гу и его коллеги определяют обстановку осадконакопления и первичного рудоотложения как отвечающую подводному (субмаринному) конусу выноса в задуговом прогибе интенсивного осадконакопления. При этом поступление рудного вещества связывается с деятельностью конвективно-рециклинговых систем, разгрузка которых носит прерывистый характер вследствие перекрытия выводных каналов эпизодической лавинной седиментацией.

Месторождения типа Карлин, радикально изменившие структуру и масштабы золотодобычи на Юго-Западе США, несмотря на долгие годы эксплуатации и обилие публикаций, остаются в центре внимания генетических построений. Интерес отечественных металлогенистов к этим месторождениям постоянно повышается в связи с отсутствием на территории России объектов-аналогов. Лишь для одного месторождения — Воронцовского в Ауэрбаховском районе Урала имеются достаточные доказательства принадлежности к карлинскому типу. Скопления тонкодисперсного золота в карбонатных толщах других регионов России пока объясняются достаточно противоречивыми генетическими моделями, не привлекающими поискового внимания.

Как следует из обобщения данных многих американских исследователей месторождений карлинского типа, рудовмещающие карбонатные толщи сформировались в мелководных частях бассейна, находившегося на фланге зон рассеянного спрединга. Рудовмещающие отложения, слагающие карбонатную платформу, насыщены остатками биоты (рис. 7).

По данным Ф.Пула (1992), П.Эмбо и Ф. Хофстры (2003) в силуре–девоне западная окраина Северо-Американской платформы развивалась в режиме рассеянного спрединга. Осевые части таких зон маркированы излияниями базальтов. В девонских отложениях, прилегающих к осям трогов, и на удалении от них известны сингенетичные скопления стратиформных колчеданно-полиметаллических руд, протяженные зоны послойной вкрапленности золотоносного пирита и другие проявления рудной минерализации, связываемой с деятельностью девонских «курильщиков», которые могли поставлять рудное вещество и в зоны рифогенного карбонатакопления. Эти образования П.Эмбо и А.Хофстра рассматривают как родоначальные для месторождений типа Карлин («первоисточники» рудного вещества). Упомянутыми исследователями в фор-

мировании месторождений тренда Карлин выделяется по крайней мере пять этапов, четыре из которых по своей сути регенерационные (см. таблицу). Декарбонатизация рудоносных карбонатных толщ связывается с эксфильтрационными процессами — миграцией вод из бассейна относительно глубоководного осадконакопления, а также отжатием поровых седиментогенных вод при формировании надвигов.

**Последовательность процессов рудообразования на месторождениях тренда Карлин
(по P.Emsbo, A.Hofstra)**

Процессы рудонакопления	Наблюдаемые и возможные обстановки проявления на отдельных месторождениях					
D ₃ — колчеданно-полиметаллические руды с баритом; обширные зоны золотосеребряного пирита; зебра-доломиты с Pb-Zn минерализацией; диагенез с частичной перекристаллизацией руд	X	—	—	—	—	—
C ₁ — метаморфизм погружения с перекристаллизацией и регенерацией, включая формирование рудных прожилков и жил	X	X	X	—	X	—
J ₃ — внедрение диоритов с образованием регенерационных (?) золотосеребряных полиметаллических жил	X	X	X	X	—	—
K — слабый магматизм, проявления рассеянной медной минерализации	X	X	—	—	—	—
P — просадочные брекчии, декарбонатизация, руды собственно Карлинского типа	X	X	X	X	X	X

Эти построения подтверждаются при сопоставлении размещения месторождений типа Карлин с размещением золотосеребряных месторождений, связанных с двумя периодами молодого вулcano-плутонизма (рис. 8). Следует обратить внимание на то обстоятельство, что в ряде случаев тренды Au-Ag месторождений «продолжают» тренды месторождений карлинского типа или «замещают» их. Отсюда следует возможность выведения в эпиптермальные Au-Ag месторождения рудного вещества из «карлинских» металлоносных толщ. Медно-порфировые месторождения этого региона скорее всего представляют собой наиболее глубокие части рудно-магматических систем, вскрытые современным эрозионным срезом.

Изложенное ярко подтверждает давнее высказывание А.И.Тугаринова о том, что в качестве источников рудного вещества следует рассматривать его любую остановку в круговороте геологической материи перед началом новых стадий накопления и рассеивания.

В заключение следует отметить, что современная металлогения (в первую очередь, прикладная) в своем развитии подошла к тому рубежу накопления фактов, который требует получения непротиворечивых и воспроизводимых выводов и построений, что невозможно без создания «Металлогенического кодекса», примерами которого являются уже существующие отечественные стратиграфический и петрографический кодексы.

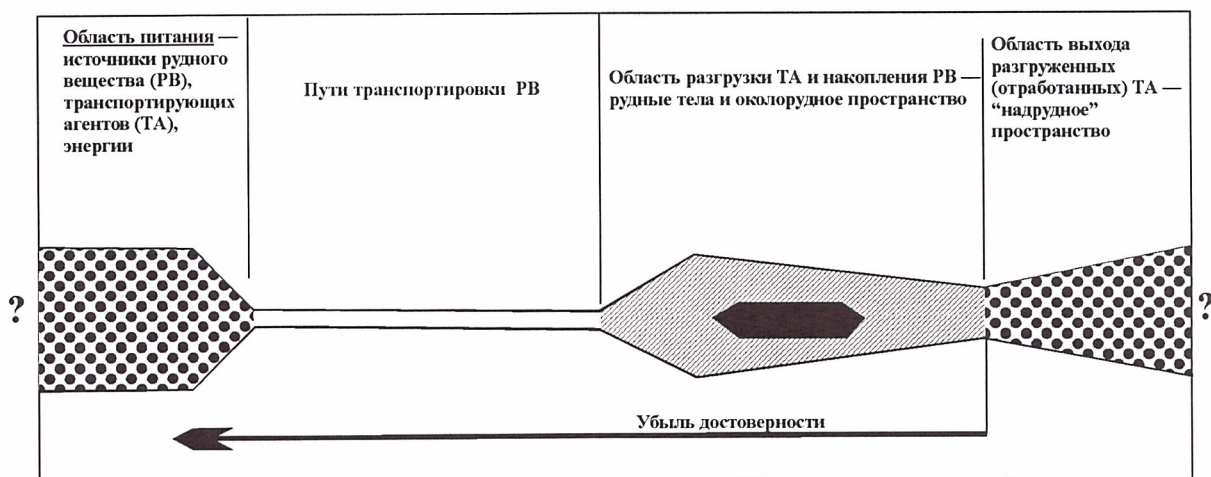


Рис. 1. Структура рудообразующих систем и их моделей

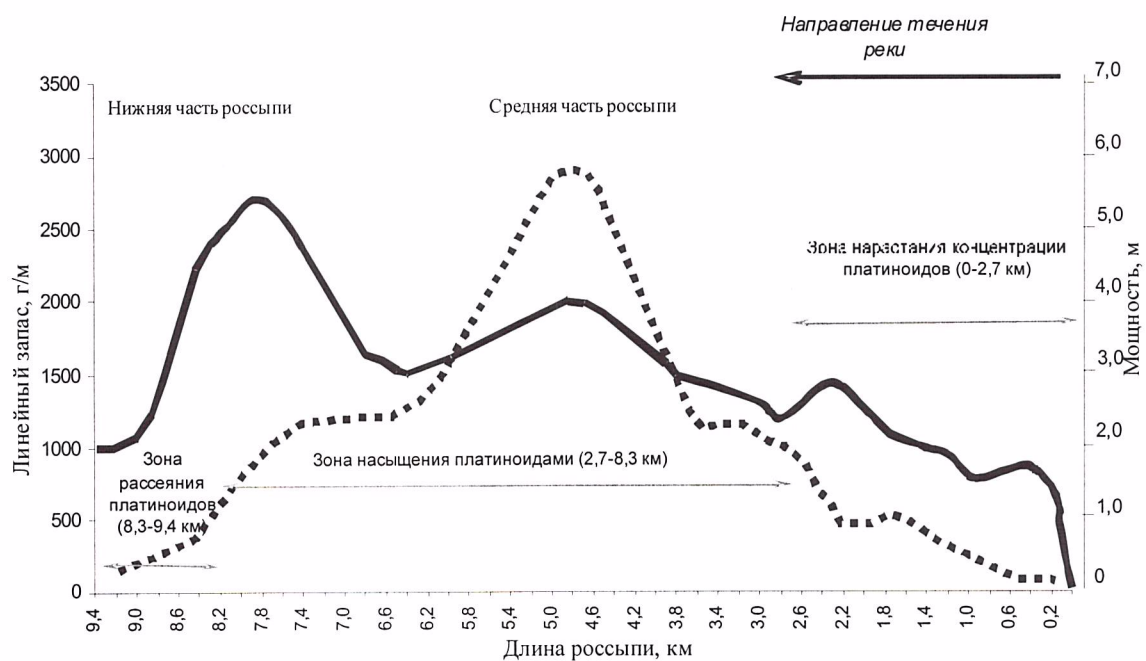


Рис. 2. Концентрационная модель россыпи р. Левтыриниваям (Корякия) — изменчивость линейных запасов платиноидов (пунктир) и мощности (сплошная линия) платиноносного пласта

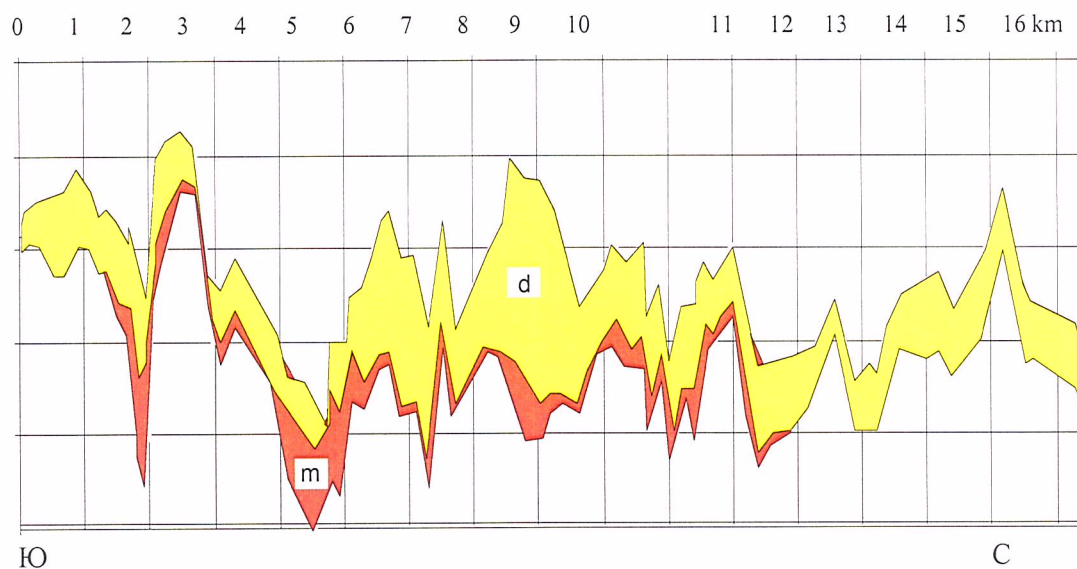


Рис. 3. Изменения мощности Талнахского интрузива (при горизонтальном положении верхней границы):
положение вкрапленных (d) и массивных (m) руд показано над и под нижней границей Талнахского интрузива

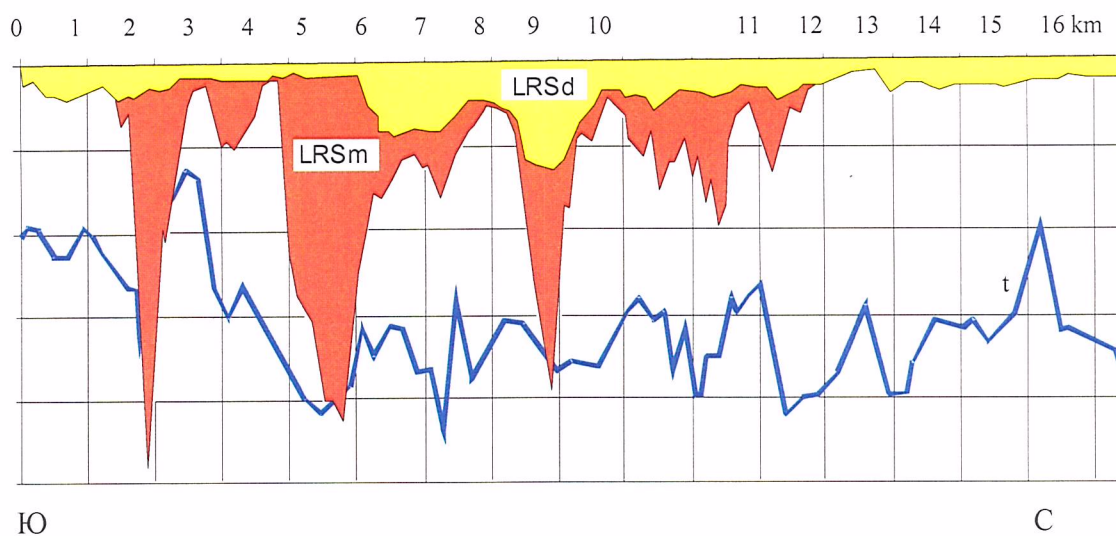


Рис. 4. Распределение линейных запасов сульфидов во вкрапленных и массивных рудах по профилю Талнахского интрузива:
LR — линейные запасы; S — сульфиды ($LRS = \text{содержания } S \times \text{мощность, услов. ед.}$); t — мощность Талнахского интрузива

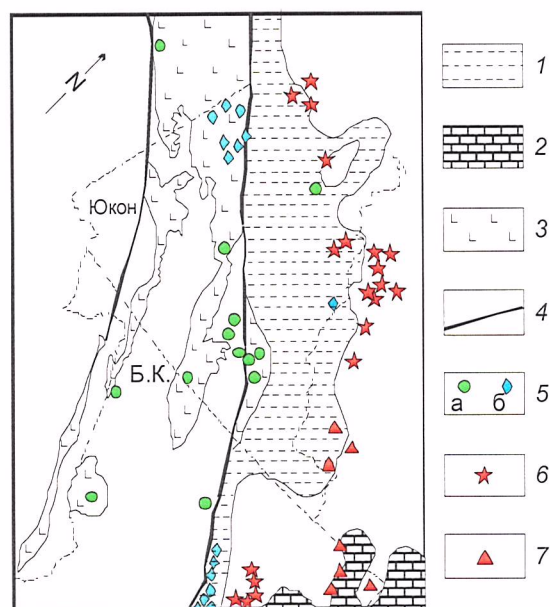


Рис. 5. Схема размещения месторождений Cu, Zn, Pb в Канадских Кордильерах. По J.Nelson (2002) с упрощениями:

1 — силурийско-девонские отложения перикратонного бассейна; 2 — девонский карбонатных фронт под более молодыми отложениями; 3 — девонско-миссисипские вулканогенные, осадочно-вулканогенные и осадочные толщи островодужной ассоциации; 4 — разлом Тинтина; 5 — девонско-миссисипские месторождения колчеданного семейства: а — вулканогенной ассоциации (VHMS) б — в осадочных толщах (SEDEX); 6 — свинцово-цинковые месторождения миссисипского типа; 7 — проявления Pb-Zn минерализации

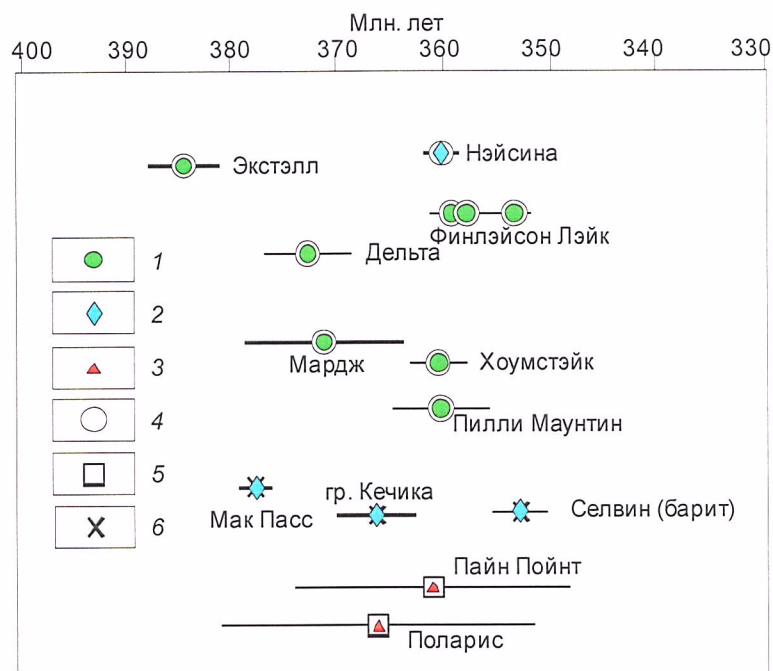


Рис. 6. Сопоставление геохронологических датировок месторождений колчеданного семейства (VHMS и SEDEX) и свинцово-цинковых миссисипского типа (MVT). По J.Nelson (2002) с упрощениями:

месторождения: 1 — VHMS, 2 — SEDEX, 3 — MVT; методы определения абсолютных возрастов: 4 — по циркону, 5 — Rb-Sr, 6 — по конодонтам

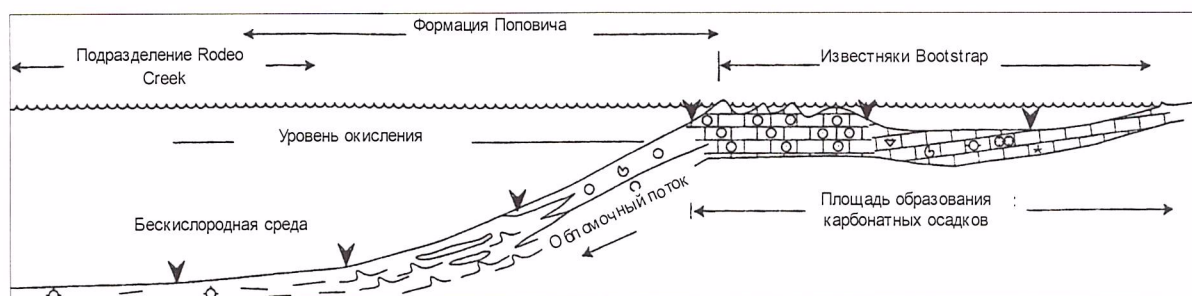


Рис. 7. Схематическая фациальная последовательность отложений девона, включая известняки Bootstrap (формация Поповича), и подразделение Rodeo Creek. Концепция по Wilson (1975)

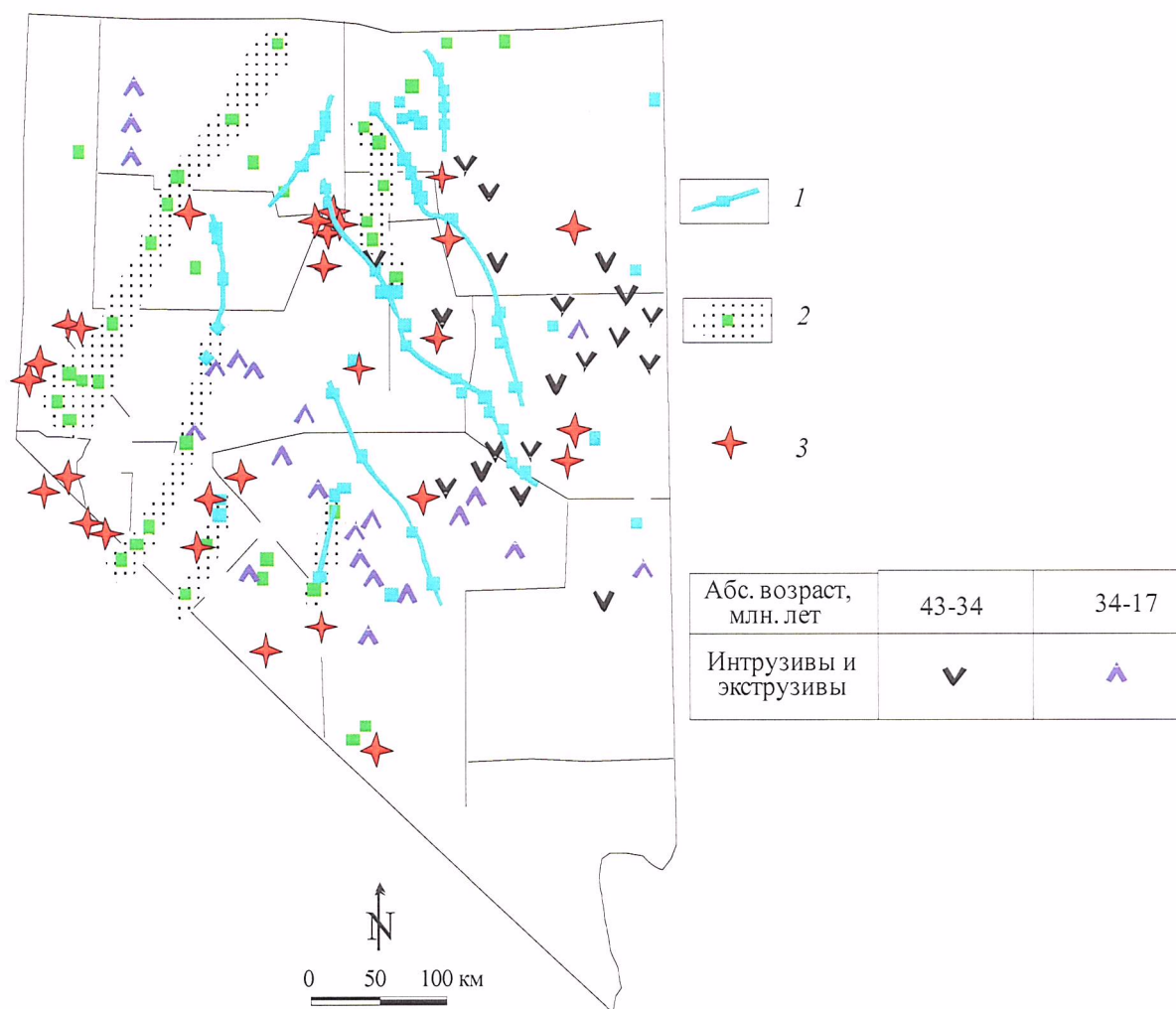


Рис. 8. Схема размещения месторождений Au, Ag, Cu, Mo на Юго-Западе США:
1 — тренды месторождений типа Карлин; 2 — ареалы расположения Au-Ag эпитермальных жильных месторождений; 3 — Cu-Mo-порфировые месторождения

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ — ПРОГНОЗЫ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

И. Ф. Мигачев (ЦНИГРИ)

Длительно развивающиеся, достаточно крупные рудно-магматические системы (РМС) нередко содержат сопряженные в пространстве месторождения различных геолого-промышленных или рудно-формационных типов, что делает их весьма привлекательными в качестве объектов прогноза, поисков и оценки.

Подавляющее большинство таких систем принадлежат внутри- и окраинноконтинентальным андезитоидным вулкано-плутоническим поясам (ВПП) и возникают в их пределах достаточно закономерно.

Анализ строения указанных поясов показал, что их развитие происходит достаточно однообразно и может рассматриваться в рамках обобщенной схемы структурно-вещественно-металлогенической эволюции и зональности (рис. 1).

В целом пояса формируются в три этапа и отвечают соответствующим структурно-формационным этапам (СФЭ). В начальные этапы развития таких поясов возникают месторождения медно-порфирового семейства, ассоциирующие с (базальт-) андезит-диорит-гранодиоритовой, андезит-латит-диорит-монцонитовой, андезит-липарит-гранодиоритовой вулкано-плутоническими ассоциациями (ВПА). С этими магматическими сериями также связаны месторождения меди других формационных типов, Fe, Au, Sn. В средние этапы образуются месторождения Mo, W, Sn, U, золотосеребряные, свинцово-цинковые в связи с (андезит-) дацит-риолит- (гранодиорит-) гранитной, риолит-лейкогранит-щелочногранитной вулкано-плутонической ассоциацией. Поздние или завершающие этапы характеризуются формированием редкометально-редкоземельного оруденения, флюорита, сурьмы и ртути, которые ассоциируют со щелочными магматическими сериями пород. Существует также необходимость выделения в строении поясов структурно-формационного этапа их субстрата или основания. При этом сиалистический субстрат характеризуется скоплением гранитофильных элементов, сиалофемический — стратиформными месторождениями полиметаллических, золотых и железных руд, фемический — доорогенными проявлениями колчеданных, железных и марганцевых вулканогенных руд. Подразумевается, что рудные компоненты субстрата в том или ином виде наследуются металлогеническими процессами периода формирования вулкано-плутонических поясов.

Среди многочисленных вулкано-плутонических поясов выделяются пояса с полным и неполным циклом развития и строения и соответственно полными и неполными металлогеническими рядами. Первые проходят все три этапа формирования, состоят из образований трех структурно-формационных этажей (Камчатско-Пенжинский, Сихотэ-Алиньский, Бельтау-Кураминский, Балхашско-Илийский, Чикой-Хилокской зоны Орхон-Селенгинского, Умлекано-Огоджинский пояса) и обычно вмещают почти полный набор перечисленных рудных объектов. В поясах неполного развития отсутствуют

структурно-вещественные комплексы среднего или верхнего этажей (Курьинский, Валерьяновский, Чу-Илийский неогеновый ВПП и ВПП Калипуи Андийского подвижного пояса), что определяет специфику их металлогенических рядов, не обладающих соответствующими группами месторождений.

В представленной принципиальной схеме отражены установленные и возможные (допускаемые) пространственно-временные связи рудных и геологических формаций, а также случаи преобразования рассеянной и концентрированной (месторождения) минерализации поздними магматическими и рудогенными процессами.

Рудные узлы с комплексной металлогенией. В вулcano-плутонических поясах геологические и рудные образования различных этапов развития нередко пространственно тесно связаны в единых длительно развивающихся рудно-магматических системах, что с учетом металлогении их субстрата приводит к формированию комплексных рудных узлов (районов и полей), которые в качестве металлогенической категории отвечают указанным системам.

Комплексные рудные узлы представляют собой геологические пространства, в пределах которых сконцентрированы рудные месторождения различных геолого-промышленных и рудно-формационных типов. Месторождения, входящие в такие узлы, могут возникать близкоодновременно, или образовываться в различные тектоно-магматические циклы в результате принципиально отличных геологических процессов. Можно выделить три типа рудных узлов с комплексной металлогенией.

К первой из них принадлежат узлы «чистой линии» — крупные рудно-магматические системы с зональным строением, сформировавшиеся в течение одного из этапов развития вулcano-плутонического пояса. Наиболее ярким примером таких узлов являются медно-порфировые рудно-магматические системы.

Во вторую группу включены комплексные рудные узлы с месторождениями различных этапов развития вулcano-плутонических поясов или с «совмещенной» металлогенией. Здесь обычно совмещаются оруденение нижних и средних этажей этих поясов — медно-порфировое, оловорудное, редкометальное, золотосеребряное.

Комплексные рудные узлы с «унаследованной» металлогенией, образующие третью группу, характеризуются сочетанием рудных объектов субстрата поясов с месторождениями самих вулcano-плутонических поясов. При этом возможно преобразование и перераспределение рудного вещества месторождений субстрата при воздействии на них плутоногенных и рудогенных процессов указанных поясов.

Наиболее широко развиты в ВПП *комплексные рудные узлы «чистой линии»*. Среди них отчетливо выделяются слабо эродированные рудно-магматические системы раннего этапа и редкометальные (Mo, Sn, W) среднего этапа развития вулcano-плутонических поясов.

Примером комплексных рудных узлов подобного типа является месторождение *Речк* (Венгрия), которое принадлежит Внутреннекарпатскому неогеновому вулcano-плутоническому поясу (рис. 2). Здесь медно-порфировое штокверковое оруденение ох-

ватывает верхние части внутренних зон штоков андезитовых порфириров, осложненных многочисленными апофизами, следующими по напластованию осадочных пород триаса. Карбонатные породы интрузивной рамы охвачены интенсивным скарнированием. Медно-порфировое оруденение пространственно сопряжено с медными рудами эндоскарнов, медными и цинково-медными рудами экзоскарнов. На периферии месторождения развита система полиметаллических жил. В надштоковых эффузивах в поздние этапы формирования рудно-магматической системы образовались штокверки, субпластовые зоны и трубообразные тела стратоидных золотосеребро-полиметаллических руд.

Комплексный рудный узел *Лэдолам* (рисунки 3 и 4) на о.Лихир (Папуа-Новая Гвинея) сформировался в четыре стадии в пределах одной вулканоструктуры, во временном интервале 1–0,4 млн.лет. Наиболее ранняя медно-порфировая минерализация развивается в эндо- и экзоконтактах штока монцонитов, подвергшихся биотитизации. Эпитермальные руды золота образуются в течение двух стадий при смешивании магматогенных флюидов, морских и метеорных вод, происходившем на фоне формирования и разрушения вулканической постройки и масштабного брекчирования пород. Рудные тела (запасы более 1000 т Au) расположены в пределах кварц-кальцит-адуляровых-ангидритовых метасоматитов и прожилков. Современная четвертая стадия характеризуется существованием термальных источников кислых сульфатных вод и выходов газа, сопровождающихся сульфидонакоплением.

Редкометальные рудно-магматические системы обычно построены по типу медно-порфировых систем и состоят из аналогичных геологических элементов. Так, месторождение *Маунт-Эммонс* (рис. 5) палеоген-неогенового рудного пояса Колорадо (США) приурочено к куполовидному интрузивному массиву, осложненному двумя штокообразными выступами риолитовых порфириров. Над одним из штоков расположены брекчиевая трубка. Апикальные части штоков и породы рамы вмещают молибденовые (с вольфрамом) штокверковые руды. В брекчиевой трубке развиты комплексное свинцово-цинково-медное оруденение, а в измененных песчаниках и сланцах пирротин-пиритовая минерализация, которая по данным Дж.Томаса и Д.Гэли образовалась в результате метаморфизма и перераспределения сингенетичных с осадками сульфидов железа. Кроме того, над более выступающим штоком находится жильная система полиметаллических руд.

Близким строением и набором типов оруденения обладают многие комплексные рудные узлы «чистой линии», как например Рэд-Маунтин, Бингхэм, Самелтвилль (США), Ми-Вида (Аргентина), Андоколло, Эль-Гуэльва (Чили), Саяк, Актогай (Казахстан), Песчанка (Россия), Эрдэнэт (Монголия), Нена (Папуа-Новая Гвинея), Лепанто (Филиппины).

Таким образом, имеется достаточно доказательств для включения в структуры рудно-магматической системы «чистой линии» эпитермальных жильных руд Au и Ag, располагающихся в приповерхностных зонах значительно выше порфировых штоков;

стратоидных люционит-энаргитовых руд с Au и Ag, которые характерны для флангов рассматриваемых систем, и мезотермальных жильных полиметаллических руд, тяготеющих к приинтрузивным зонам. Допускается возможность прогноза недостающих элементов РМС при наличии одного из них.

Комплексные рудные узлы с совмещенной металлогенией также довольно широко распространены в структурах вулкано-плутонических поясов и, как правило, отвечают крупным вулканоструктурам.

Комплексный рудный узел вулканоструктуры *Левинсона-Лессинга* (рис. 6), представляющей часть Камчатского олигоцен-неогенового пояса, включает золотоносные медно-порфировые руды, золотосеребряное оруденение и ртутную минерализацию. Медно-порфировые руды образовались в раннюю стадию формирования кальдеры в связи с андезит-дацит-диорит-гранодиоритовой серией и приурочены к порфировым штокам диорит-гранодиоритового состава бортов кальдеры. Оруденение золотосеребро-адуляр-кварцевой формации ассоциирует с субвулканическими и экстррузивными телами дацитов и риолитов (андезит-) дацит-риолит-гранодиорит-гранитной группы в прикальдерной и кальдерой частях. Ртутная минерализация ассоциировалась с экстружиями трахидацитов и трахириолитов, приуроченных к центру кальдеры и сформировавшихся в заключительный этап становления рудно-магматической системы. В фундаменте вулканоструктуры фиксируются колчеданная минерализация в вулканогенно-кремнистых толщах и жильно-штокверковые проявления меди в массивах габбро-сиенитов верхнего мела.

Дукатский комплексный рудный узел (рис. 7), включает две вулcano-тектонические депрессии, представляющие часть Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса мелового возраста. В центре первой депрессии фиксируется вулканоплутонический купол, сложенный раннемеловыми эффузивами риолитового ряда, прорванными штоками гранодиоритов. С ними обнаруживается пространственную и временную связь сереброфлюорит-сульфидные и серебро-адуляр-кварцевые ассоциации Дукатского месторождения. По периферии купола развиты породы андезит-дацит-диорит-гранитной вулканоплутонической ассоциации позднемелового возраста, с которой связаны сереброкварц-родонитовое и серебро-полиметаллическое оруденение Дукатского месторождения.

Вторая депрессия расположена севернее первой и выполнена позднемеловыми андезит-дацит-липаритовыми телами, с которыми ассоциируют месторождения сереброполиметаллической, олово-серебряной, олово-полиметаллической формаций, обнаруживающие латеральные переходы между собой. В андезитах фиксируются золотосеребряные проявления.

Совмещение оруденения разных этапов формирования вулканоплутонического пояса характерно для Коунрадского в Балхашско-Илийском поясе (Казахстан), Агинского (Камчатский пояс, Россия), Карамкенского (Охотско-Чукотский пояс, Россия) комплексных рудных узлов.

Комплексные рудные узлы с «унаследованной металлогенией» известны во многих вулканоплутонических поясах.

Кальмакырский комплексный рудный узел (рис. 8) локализуется в Кураминском поясе (Узбекистан) ниже-верхнекаменноугольного возраста. В карбонатных толщах верхнего девона субстрата развиты стратиформные свинцово-цинковые месторождения. Основной рудный объект узла — медно-порфировое крупное месторождение Большой Кальмакыр, состоящее из трех сближенных месторождений — Балыкты, Кальмакыр и Дальнее, каждое из которых приурочено к отдельному штоку гранодиорит-порфиров, сливающихся на нижних горизонтах.

Большой Кальмакыр — крупная медно-порфировая рудно-магматическая система включающая свинцово-цинковую и золотосеребряную минерализацию, локализирующуюся на флангах месторождений. Рудоносные плутониты скарнируют и переотлагают свинцово-цинковое оруденение субстрата в виде скарновых и жильных руд с привносом в них значительных количеств меди и золота. Синхронные плутонитам андезиты накапливаются в грабенах вокруг плутоногенного поднятия. Андезиты прорываются дацитовыми экструзивами, возможно относящимися к среднему этапу рудно-магматической системы, в которых локализовано золотосеребро-кварцевое оруденение.

Карагайлинский комплексный рудный узел (Казахстан) (рис. 9) расположен на фланге северной части каменноугольного–пермского Балхашско–Илийского пояса. Субстрат этого пояса здесь состоит из терригенных отложений нижнего-среднего девона, сменяющихся в верхней части разреза (фамен) кремнисто-карбонатно-вулканогенными толщами, вмещающими послойные залежи железо-марганцевых и барит-полиметаллических руд (месторождения Холзунское, Атаусийское и др.).

Медно-порфировая минерализация, принадлежащая раннему этапу развития каменноугольного вулканоплутонического пояса, ассоциирует с гранодиоритовыми порфировыми штоками и в отдельных участках пересекает слабосканированное барит-полиметаллическое оруденение. Образования среднего этажа пояса проявлены в виде интрузивов гранит-щелочногранитного комплекса. По мнению большинства исследователей, именно в связи с их внедрением произошло масштабное преобразование железо-марганцевых и барит-полиметаллических руд и образование мощных скарновых зон и перегруппировка стратиформного оруденения.

Ярким примером комплексного рудного узла с «унаследованной металлогенией», близкими по строению к уже описанным, является *Бингхэм* (США), где по данным Р.Брэя и И.Вилсона, крупная медно-порфировая рудно-магматическая система третичного вулканоплутонического пояса наложена на каменноугольный вулканогенно-терригенно-карбонатный осадочный комплекс, вмещающий стратиформное серебро-свинцово-цинковое оруденение. Эти руды скарнированы и переотложены под воздействием рудно-магматической системы.

Понагюрский комплексный рудный узел (Болгария) образовался в результате наложения образований позднемелового–палеогенового среднегорского вулканоплутонического пояса на каменноугольный вулканогенно-терригенно-карбонатный осадочный комплекс, вмещающий стратиформное серебро-свинцово-цинковое оруденение.

плутонического пояса на комплексы островной дуги (K_{1-2}). Здесь совмещены медно-полиметаллические колчеданные руды островных дуг, достаточно крупные медно-порфировые системы ранних этапов развития этого пояса и серебро-золото-кварцевое оруденение, возможно связанное с дацит-риолитовыми субвулканическими телами среднего этажа пояса (по данным С.Янковича, Р.Силлитоу). К этому же типу рудного узла может быть отнесена рудно-магматическая система Аурбаховского рудного района.

Особый интерес в связи с проблемой комплексных рудных узлов этой группы вызывают процессы ремобилизации рудного вещества под воздействием поздних рудно-магматических процессов. Кроме геологических признаков таких преобразований широко используются геохимические и изотопные данные.

На месторождении *Таши-Яр* (Урал) (рис. 10) В.И.Сначевым и М.А.Романовской достаточно убедительно показано, что колчеданное оруденение в течение длительного времени (около 1 млн. лет) находилось в высокотермальном и высокоградиентном поле более поздней гранитоидной интрузии, принадлежащей вулкано-плутоническому поясу. Результатом этого явилось возникновение метаморфической зональности, почти полная перекристаллизация колчеданных руд и формирование новых высокотемпературных минеральных парагенезисов, экстракция и рассеяние рудного вещества с одновременным образованием новых рудных тел — жильных и прожилковых крутопадающих зон.

Образование знаменитого, одного из крупнейших в мире золоторудных месторождений *Мурунтау* (Узбекистан) (рис. 11), по мнению Н.К.Курбанова, происходило следующим образом.

В первый этап здесь в пределах рифтогенного прогиба накапливались терригенно-флишеидные отложения и изливались субщелочные толеит-базальтовые лавы. Одновременно отлагались золотоносные сульфиды (пирит, арсенопирит) в рудоносных горизонтах мощностью до 300 м. Второй и третий этапы связаны с внедрением и становлением гранитоидной интрузии, вероятно, принадлежащей верхнепалеозойскому Кызылкумскому вулкано-плутоническому поясу.

Во второй этап (карбон–пермь) в пластичных и проницаемых терригенных толщах формируются слоисто-полосчатые, многоярусные тела кварц-альбитовых и кварц-биотит-калишпатовых метасоматитов, в пределах которых регенерируется золото из сульфидов и формируются промышленные гидротермально-метасоматические руды.

Для третьего этапа характерны интенсивные дизъюнктивные дислокации, которые определили возможность образования гигантского золотокварцевого мегаштокверка с стержневыми кварцевыми жилами. Этот этап скорее всего связан с окончанием кристаллизации полифазной глубинной интрузии, но не исключается возможность дополнительного привноса металлов гидротермальными растворами.

Приведенный материал достаточно убедительно свидетельствует о том, что процесс формирования комплексных рудных узлов или рудно-магматических систем с комплексной металлогенией представляет собой не каприз природы, а закономерное геологическое явление связанное с развитием вулкано-плутонических поясов. Такое обстоя-

тельство, с учетом довольно широкого развития ВПП на территории России, особенно на востоке страны, определяет целесообразность создания моделей комплексных рудных узлов и в первую очередь геолого-поисковых, на основе которых возможны их прогнозы и поиски, а также переоценка уже известных рудоносных площадей.

Кроме того, немаловажно, что комплексное освоение сближенных месторождений более эффективно, чем эксплуатация каждого из них в качестве отдельного объекта, что было доказано расчетами проведенными в ЦНИГРИ. Поэтому оценка комплексных рудных узлов должна завершаться разработкой их геолого-экономических моделей. В качестве необходимых мер по формированию геолого-поисковых и оценочных моделей данных узлов можно отметить следующие:

- типизация геологических обстановок нахождения КРУ на базе банков и баз данных;
- установление основных и второстепенных элементов строения КРУ применительно к различным типам обстановок их нахождения;
- типизация КРУ;
- формирование геолого-поисковых моделей КРУ;
- разработка оптимального комплекса методов для прогноза, поисков и оценки КРУ.

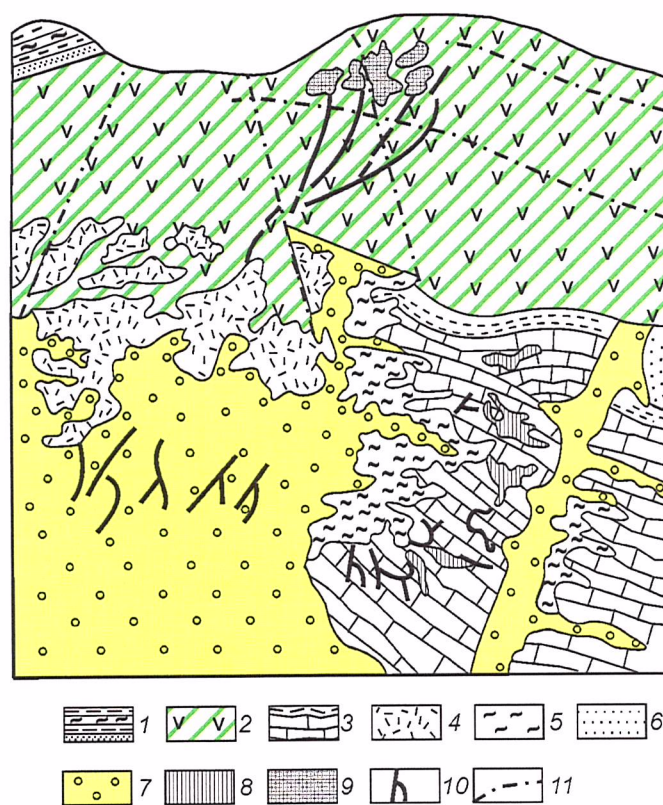


Рис. 2. Геологический разрез месторождения Речк. (По И.Киссу и др.):

1 — песчано-глинистые отложения олигоцена; 2 — туфы и лавы андезитов позднего эоцена; 3 — известняки и сланцы триаса; 4 — эндоскарны; 5 — экзоскарны; 6 — флогонит-хлоритовая зона; 7 — медно-порфировая минерализация в штоках андезитовых порфиров; оруденение: 8 — полиметаллическое скарновое; 9 — энаргит-люцитовое; 10 — жильное полиметаллическое; 11 — разрывные нарушения

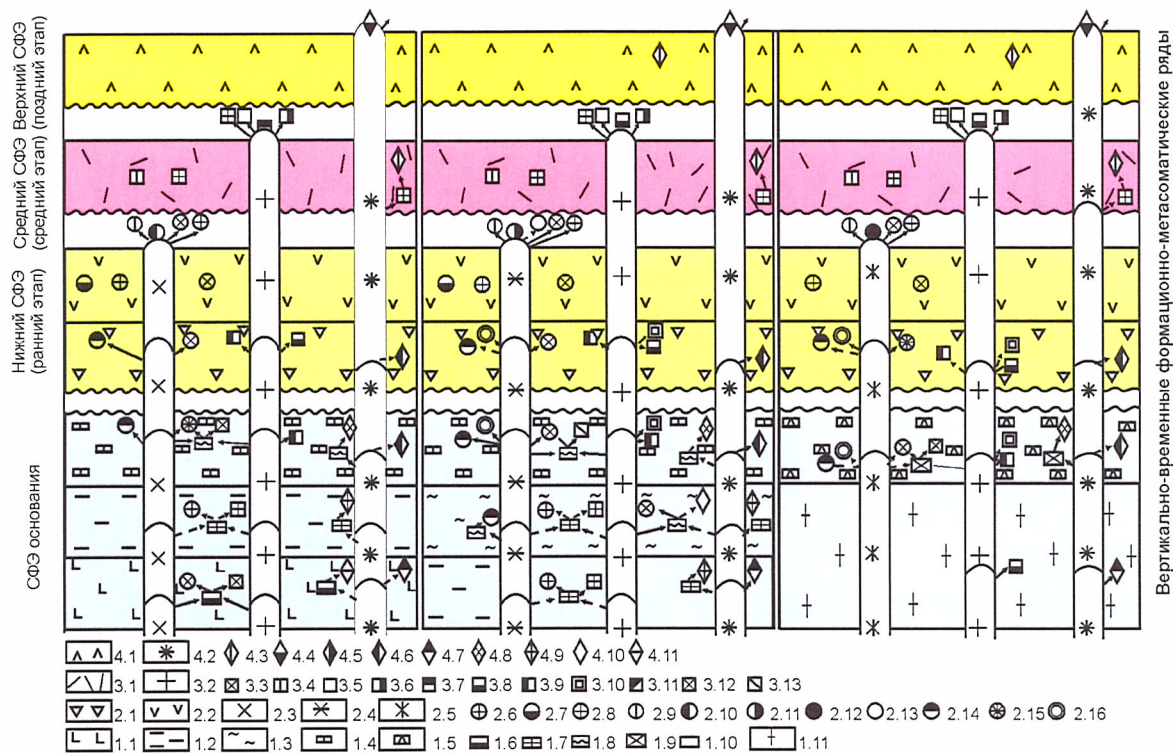


Рис. 1. Принципиальная схема строения и формационно-металлогенической зональности андезитовых ВПП:

Геологические и рудные формации, их комплексы и семейства: 1.1–1.11 – *структурно-формационного этажа (СФЭ) основания*: 1.1 – базальт-андезит-дацит-риолитовая группа формаций эвгеосинклиналей и базальт-риолитовая терригенно-флишеидная терригенных эвгеосинклиналей, 1.2 – углеродисто-терригенно-флишеидная терригенных эвгеосинклиналей и миогеосинклиналей, 1.3 – карбонатно-терригенно-флишевая миогеосинклиналей, 1.4 – известково-доломитовая эв- и миогеосинклиналей, 1.5 – трахиандезит-трахириолит-кремнисто-карбонатная пред- и запоясных тыловых прогибов, 1.6 – семейство свинцово-цинково-медноколчеданных и свинцово-цинковоколчеданных формаций, 1.7 – золотосульфидная, 1.8 – железорудная магнетит-гематитовая, 1.9 – колчеданная железомарганцевая полиметаллическая, 1.10 – свинцово-цинковая стратиформная, 1.11 – существенно сиалические, гранитизированные и метаморфические серии; 2.1–2.16 – *нижнего СФЭ*, группа: 2.1 – вулканогенно-терригенно-карбонатная группа, 2.2 – андезитовая, включая субвулканические фации, 2.3 – габбро-диорит-гранодиоритовая, 2.4 – диорит-гранодиорит-гранитная, 2.6 – серебро-золото-полисульфидно-кварцевая, 2.7 – меднорудная типа «манто», 2.8 – медно-свинцово-цинковая жильно-штокверковая, 2.9 – молибдено-медная жильная, 2.10 – молибдено-медно-порфировая, 2.11 – медномолибден-порфировая, 2.12 – молибден-порфировая, 2.13 – полиметалльно-оловянная, 2.14 – скарновых формаций (железо, железо-медная, молибден-медная), 2.15 – свинцово-цинковая скарновая, 2.16 – оловоносная скарново-грейзеновая; 3.1–3.13 – *среднего СФЭ*: 3.1 – (дацит-) риолитовая, включая субвулканические фации, 3.2 – гранит-лейкогранитная-щелочногранитная-аляскитовая группа, 3.3 – золотосеребро-адуляр-кварцевая, 3.4 – молибден-урановая жильно-штокверковая, 3.5 – редкометалльно-оловянная, 3.6 – (бериллий)-вольфрам-молибденовая группа, 3.7 – редкометалльная (тантало-ниобиевая), 3.8 – метасоматическая кварц-полевошпатовая редкометалльная (тантало-ниобиевая), 3.9 – вольфрам-молибденовая скарновая, 3.10 – оловорудная скарновая, 3.11 – железорудноскарновая, 3.12 – свинцово-цинковая жильно-штокверковая, 3.13 – полиметалльно-медная-жильно-штокверковая; 4.1–4.11 – *верхнего СФЭ*, группа: 4.1 – трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовая, 4.2 – монцо-сиенит-щелочногранитная, 4.3 – сереборудная, 4.4 – редкометалльно-редкоземельная, 4.5 – сурьмяно-ртутная, 4.6 – метасоматическая флюорит-берtrandитовая, 4.7 – метасоматическая кварц-полевошпатовая редкометалльно-редкоземельная, 4.8 – свинцово-цинковая скарновая и жильных зон, 4.9 – золото-кварцевая, 4.10 – железорудная скарновая и жильных зон, 4.11 – полиметалльно-медная жильно-штокверковая; сплошные и пунктирные стрелки – установленные и возможные (допускаемые) пространственно-временные связи плутогенных и рудных формаций, а также установленные и возможные случаи преобразования рудных формаций; свободообразные линии в контурах плутогенных формаций – установленные и возможные верхние (апикальные) уровни формирования интрузивных колонн; римские цифры – основные типы строения субстрата ассоциации вулканоплутоического пояса (АВПП): I – существенно фемический (эпизвгеосинклинальный), II – сиалофемический (эпимиогесинклинальный), III – существенно сиалический (интенсивно метаморфизованный и гранитизированный, эпикратонный)

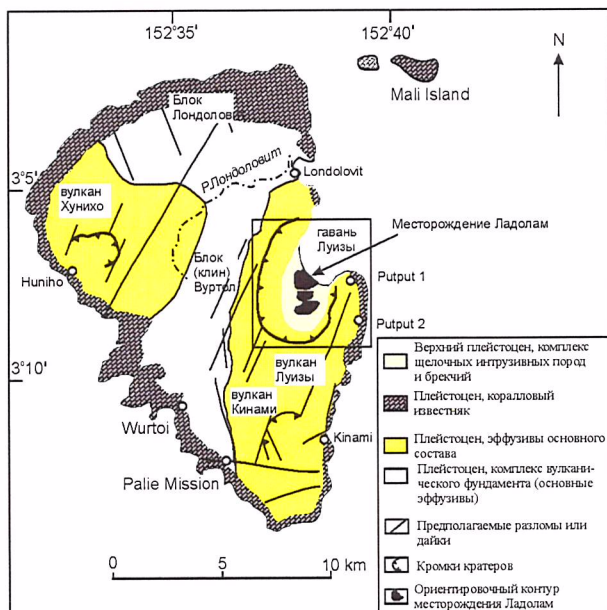


Рис. 3. Схематическая геологическая карта о. Лихир (Wallace et al., 1983)

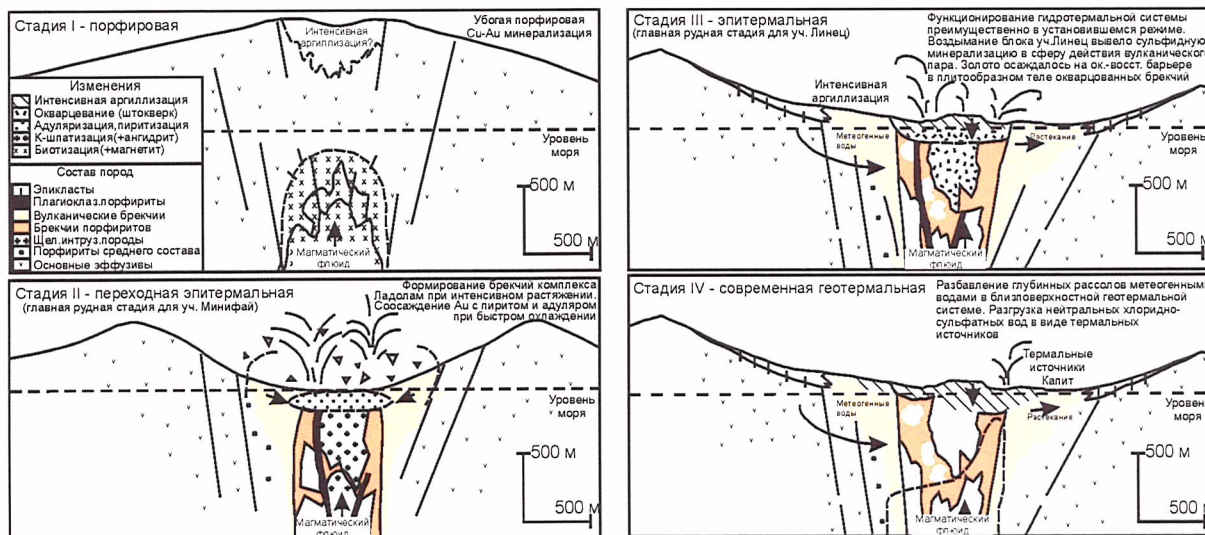


Рис. 4. Четыре стадии эволюции месторождения Лэдолом

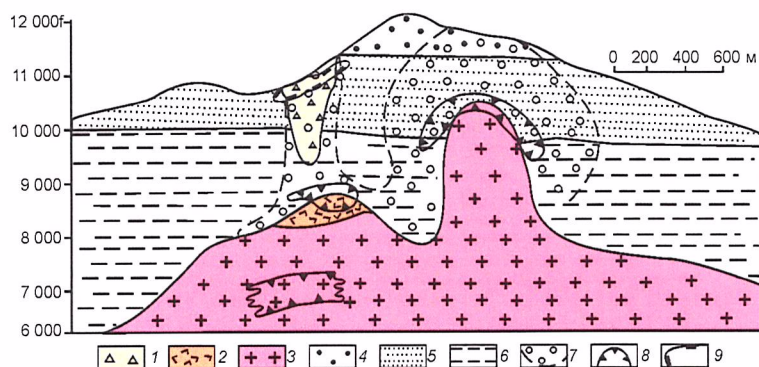


Рис. 5. Геологический разрез месторождения Маунт-Эмманс. (По Дж. Томасу, Гэли):

1 — брекчиевые трубки; 2 — окварцованные и серицитизированные риолитовые порфиры; 3 — риолитовые порфиры; 4 — конгломераты и песчаники формаций Восатчи и Огайо-Крик; 5 — сланцы и песчаники формации Месаверде; 6 — сланцы и песчаники формации Минкос; 7 — зона окварцевания и серицитизации; 8 — контуры молибденовых рудных тел; 9 — контур свинцово-медно-цинкового рудного тела

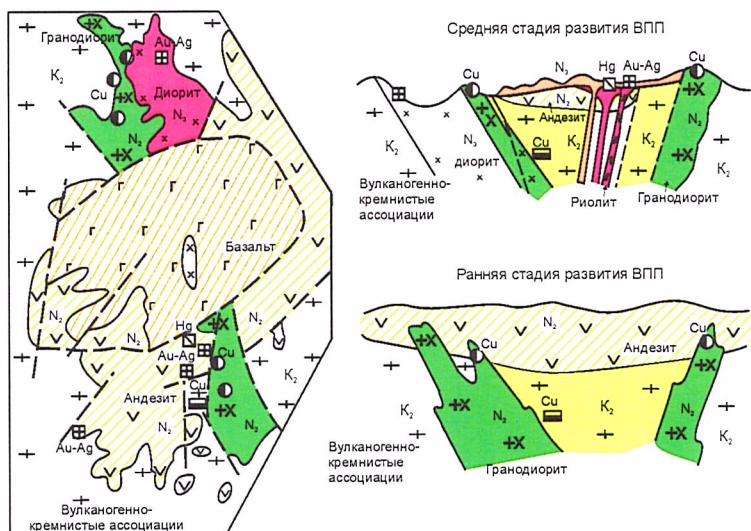


Рис. 6. Строение и эволюция комплексного рудного узла вулканоструктуры Левинсона-Лессинга. (По Ю.М.Щенотьеву)

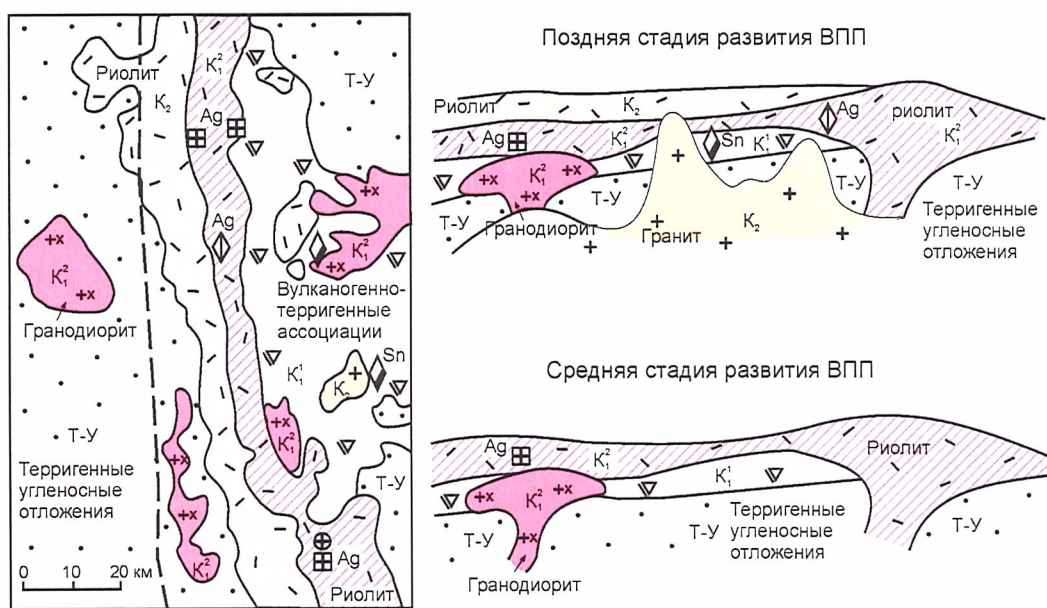


Рис. 7. Строение и эволюция Дукатского комплексного рудного узла

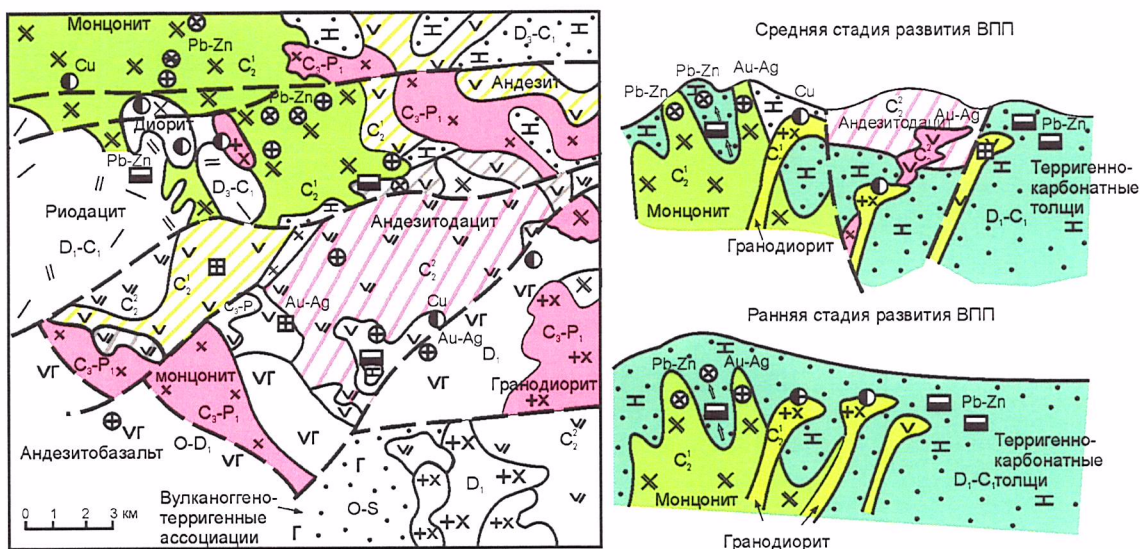


Рис. 8. Строение и эволюция Кальмакырского комплексного рудного узла

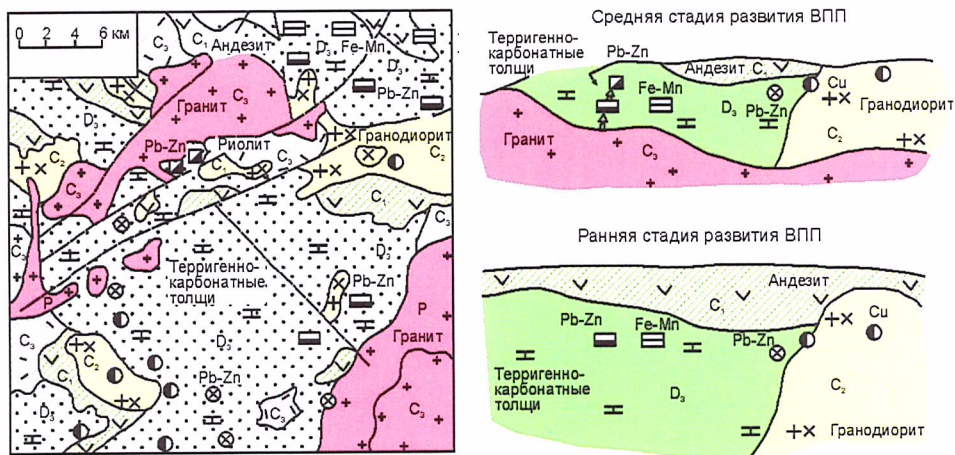


Рис. 9. Структура и эволюция Карагайлинского рудного поля

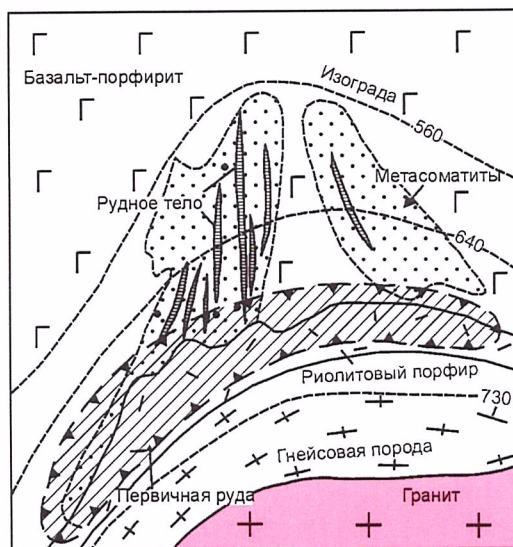


Рис. 10. Структура месторождения Таш-Яр. (По С.Н.Снагеву и М.Романовской)

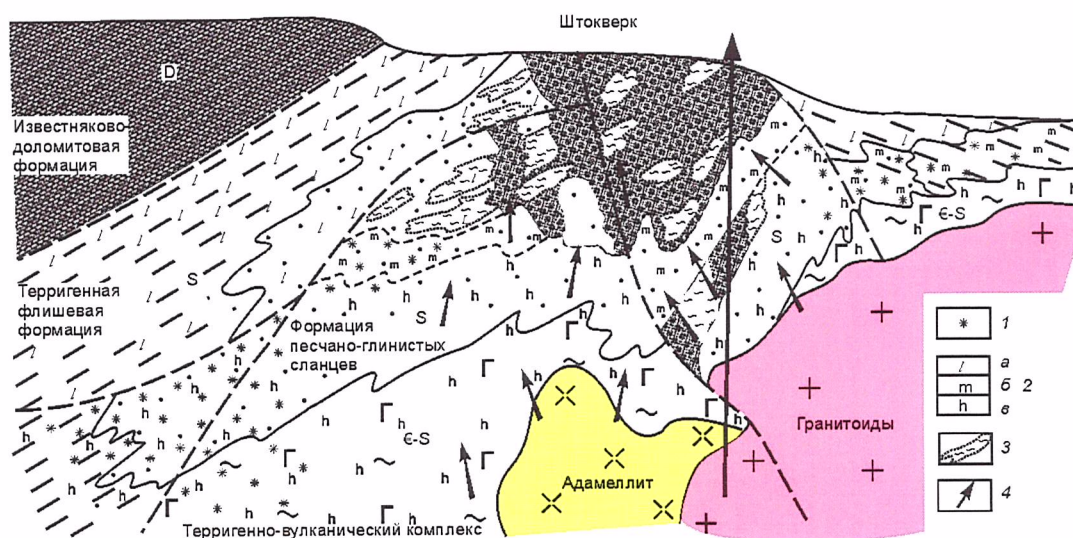


Рис. 11. Схематичный геологический разрез месторождения Мурунтау. (По Н.К.Курбанову):

1 — остаточные блоки рассеянной (вкрапленной) золото-сульфидной минерализации; 2 — зоны метасоматических изменений пород: а — низкотемпературный режим, б — среднетемпературный режим, в — высокотемпературный режим; 3 — реликты метаморфогенного прожилкового кварца с золотом; 4 — зоны терморегенерационного влияния рудообразующих интрузий

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ — ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА

Е.М.Аксенов (ЦНИИГеолнеруд)

Неметаллические полезные ископаемые (НПИ) — одна из самых распространенных групп минерального сырья (более 150 видов) и их стратегическое значение определяется широкомасштабным и многоцелевым использованием для обеспечения устойчивого развития базовых экономических комплексов (табл. 1), что в итоге обеспечивает национальные минерально-сырьевую, продовольственную и экологическую безопасность.

Динамика мирового рынка неметаллов демонстрирует его устойчивое развитие и наблюдается увеличение степени превышения потребления неметаллов над металлами, что является определенным индикатором социально-экономического развития страны. Так, в США за 1995–2000 гг. производство нерудного сырья выросло на 23% (до 30,3 млрд. долл. США), что превысило производство металлов в три раза, которое за эти же годы сократилось на 30%.

Рост социально-экономического значения неметаллов подтверждается данными мировой статистики годовых объемов в стоимостном выражении производства и экспорта минеральной продукции (в млрд. долл. США): калийные соли (5,65), каолин (4,81), фосфаты (3,88), тальк (2,52), магнезит (2,44), бентонит (1,13), барит (0,67) и др.

Лидерами на мировом рынке неметаллической продукции являются США и Канада (по 5–7 млрд. долл./год), к этим же позициям приближается и Китай. Объем экспорта основной неметаллорудной продукции из России составляет около 3 млрд. долл., в т.ч. калийных и сложных минеральных удобрений и апатитового концентрата на 1,7 млрд. долл. На такую же сумму импортируем плавиковый шпат, барит, каолин, бентонит, кремний, бораты, соль, фосфаты, графит, минерально-строительное сырье и др.).

По приближенным расчетам ежегодный объем добычи нерудных полезных ископаемых в России, включая так называемые общераспространенные, составляет не менее 550 млн.т и стоимость добытой продукции не менее 5,5–6,0 млрд. долл.; добыча и стоимость общераспространенных полезных ископаемых — соответственно 80 и 60% от общей, что, несомненно, свидетельствует об их социально-экономическом значении для регионов и России в целом.

Агрохимическое сырье. В России сложилась парадоксальная ситуация. Имея крупные запасы агрохимического сырья (калийные соли 16,6%, фосфаты 7%) и производя 12% минеральных удобрений от общемирового уровня, ее внутренний рынок сельского хозяйства резко отстает от оптимальных его потребностей. Общеизвестно, что эффективность сельского хозяйства на 60% зависит от использования минеральных удобрений (табл. 2).

1. Обеспечение базовых комплексов национальной экономики неметаллами

Базовый экономический комплекс	Основные виды НПИ	Основные области применения
Агропромышленный	Апатиты	Производство минеральных удобрений
	Фосфориты	
	Калийные соли	
Металлургический, машиностроительный	Магнезит, брусит	Производство огнеупоров, электроизоляционных и электротехнических изделий
	Графит кристаллический, чешуйчатый	Производство огнеупоров, материалов высокой чистоты
	Графит «аморфный» (скрытокристаллический)	Изготовление тиглей, литейных форм, спецкрасок, коллекторов, динамомашин, электродов, огнеупоров
	Бентонит	Получение формовочных смесей, окомкование рудных концентратов
	Плавиковый шпат	В качестве флюса в черной металлургии, фтористых солей в алюминиевой промышленности
	Андалузит, sillиманит, бокситы маложелезистые, кианит	Производство огнеупоров
	Циркон	
	Каолин	
	Кварциты	
	Глины огнеупорные	
Топливо-энергетический	Барит	Утяжелители для буровых растворов
	Бентонит	Приготовление буровых растворов
	Каолин	Производство пропантов (для гидроразрыва пластов)
Химико-лесной	Каолин и тальк маложелезистый, барит, волластонит, бентонит	Производство керамики, бумаги, резинотехнических и электротехнических изделий, пластмасс; лакокрасочная и пищевая промышленность, парфюмерия
	Графит	Смазочные материалы, антифрикционные изделия, карандаш, краски
	Плавиковый шпат	Производство искусственного криолита, плавиковой кислоты, стекла и эмалей, электродных покрытий
	Бор	Производство стекловолокна, стекла, керамики, изоляционных материалов, эмалей, глазури
	Хлористый натрий	Производство содопродуктов, соляной кислоты, хлора и других химикатов; в пищевой промышленности
Минерально-строительный	Асбест, тальк, глины, диатомиты, опоки, цеолитсодержащие породы, магнезит, доломиты, известняки, мел, серпентиниты, пески стекольные, песчано-гравийные смеси, гипс, вермикулит	Строительные и конструкционные материалы, в т.ч. волластонитовая и кордиеритовая керамика, жидкое стекло, абразивы и др.
Экологический	Природные сорбенты (цеолит, опока, трепел, диатомит, бентонит, глауконит, перлит, шунгит)	Очистка природных и промышленных вод, нефти и нефтепродуктов, газов, объектов, зараженных радионуклидами
Высоких технологий	Особо чистый кварц, мусковит, асбест (специальный), пьезооптическое сырье, графит, шунгит	В радиоэлектронике, атомной и оборонной промышленности

2. Использование минеральных удобрений в ведущих странах мира

Страна	Внесение минеральных удобрений, кг/га	Урожайность зерновых культур, ц/га
Россия	13	19,4
Великобритания	348	61,0
Германия	257	69,9
Китай	280	45,7
США	250	58,1
Япония	315	61,4

В 2004 г. в Россию было импортировано продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья на сумму около 10 млрд. долл., что составляет почти 20% всего российского импорта. Соединенные Штаты Америки наоборот, за счет реализации сельскохозяйственных продуктов на внешних рынках обеспечивают до 20% своих валютных поступлений. Это уже реальная угроза продовольственной безопасности страны.

Сектор минеральных удобрений — один из основных химического комплекса страны. Доля производства минеральных удобрений в объеме выпуска химической продукции составляет не менее 30–35%. В настоящее время 5 основных компаний производят около 80% всех минеральных удобрений в России (табл. 3).

Производители калийных удобрений ОАО «Уралкалий» и «Сильвинит» используют крупнейшее в мире Верхнекамское месторождение. Эти компании сырьевой базой обеспечены на многие десятки лет. Компании в 2007–2010 гг. планируют увеличение производства калийных удобрений до 7–10 млн. т/год, но в основном это будет обеспечение позиций на мировом рынке (Юго-Восточная Азия, Китай, Бразилия), где уже сейчас они продают 18% калийных удобрений, уступая лишь Potash.Corp. (Канада) — 31%. На внутренний рынок поступает не более 1–1,5% от производимых калийных удобрений.

ЗАО «Еврохим», Ассоциации «ФосАгро» и «Акрон» на внутренний рынок поставляют не более 25% своей продукции, т.е. в сумме немногим более 3 млн.т минеральных удобрений. Минерально-сырьевыми базами ЗАО «Еврохим» являются Ковдорское месторождение апатита и Кингисеппское месторождение фосфоритов, а для Ассоциации «ФосАгро» — Хибинская группа месторождений апатита — основной поставщик фосфатов. Реальное состояние с добычей апатита на ОАО «Апатит» (переход на подземную добычу) вряд ли позволит увеличить достигнутый уровень добычи апатитовой руды (28 млн.т) и производства апатитового концентрата (9 млн.т), около 25–30% которого идет на экспорт. Увеличить уровень добычи и производство за счет передачи резервных запасов месторождений Олений Ручей и Партомчорр недропользователям, но и в этом случае основные запасы можно разрабатывать подземным способом. Компании планируют увеличение ежегодных поступлений минеральных удобрений на внутренний рынок до 20–25% (относительных).

3. Крупнейшие российские компании по производству минеральных удобрений. По И.Русанову (2005)

Компании	Производство удобрений, млн. т.	Специализация	Основные производственные активы
ЕвроХим	4,1	Азотные, сложные удобрения, добыча апатитов	ОАО «Невинномысский Азот», ОАО «Новомосковская акционерная компания «Азот», ОАО «Ковдорский ГОК», ООО «Промышленная группа Фосфорит», ОАО «ЕвроХим – Белореченские минудобрения», Lifoosa AB (Литва)
ФосАгро	4,3	Добыча апатитов, сложные (преимущественно азотно-фосфорные), азотные удобрения	ОАО «Апатит», ОАО «Аммофос», ООО «Балаковские минудобрения», ОАО «Воскресенские минудобрения», ОАО «Череповецкий «Азот»
Акрон	3.3.	Азотные, сложные удобрения	ОАО «Акрон» (Новгород), ОАО «Дорогобуж» (Смоленская обл.), ОАО «Хунжи–Акрон» (Китай)
Уралкалий	5	Калийные удобрения	ОАО «Уралкалий»
Сильвинит	4,2	Калийные удобрения	ОАО «Сильвинит»

Однако внутренний сельскохозяйственный рынок не может развиваться и увеличивать потребление минеральных удобрений без значительных инвестиций со стороны государства. В настоящее время прямая поддержка сельского хозяйства в России составляет 12,7 долл./га пашни, а в ЕС — 800 долл./га, в Швеции — 3200 долл./га. Принятая Правительством Российской Федерации распоряжение № 1564-р от 01.10.2005 ФЦП «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы» не позволяет надеяться на кардинальное изменение с внесением минеральных удобрений. Что даст реализация национального проекта «Эффективное сельское хозяйство» покажут ближайшие годы.

Россия обладает значительными запасами и прогнозными ресурсами калийных солей, особенно остродефицитных сульфатных минеральных солей в Прикаспийском, Непском и Калининградско-Гданьском солеродных бассейнах, которые, при вовлечении их в разработку, могут существенно укрепить позиции России на мировом рынке и обеспечить внутренний рынок. В Прикаспийском регионе ведутся опытно-методические работы на Шарлыкском объекте (Оренбургская область) и ЗАО «Еврохим» выиграло тендер на изучение и добычу калийных солей в Волгоградской области (Гремячинское месторождение). Освоение объектов Прикаспийского бассейна послужит решению двух задач:

созданию уникальной минерально-сырьевой базы в центре сельскохозяйственной зоны России;

значительному ее приближению к экспортным портам.

Вторая задача очень выигрышно для ресурсов калийных солей Калининградско-Гданьского бассейна — региона важного и с геополитических позиций.

Учитывая значительный рост рынка калийных удобрений в Юго-Восточной Азии и Китае, потенциальным для крупных инвесторов является Непский солеродный бассейн,

находящийся в зоне влияния создаваемой нефтегазоносной инфраструктуры Сибири и Дальнего Востока.

Значительно сложнее дело обстоит с воспроизводством и использованием минерально-сырьевой базы фосфатного сырья. Крупные объекты — Селигдарское и Белозиминское (апатиты), Вятско-Камское (фосфориты) требуют разработки новых, инновационных энергосберегающих технологий переработки руд. Необходимо инвестирование геологоразведочных работ на поиски и оценку месторождений в зоне влияния БАМ (Холболок-Урагинская зона, Бирэкэно-Бурное) и в других регионах — Европейская часть России, юг Сибири.

Нерудное металлургическое сырье. В настоящее время минерально-сырьевая база нерудного металлургического сырья в России не подготовлена для производства конкурентноспособных современных огнеупоров. Металлургическая промышленность в значительной степени зависит от импортных поставок не только огнеупорного сырья (высококачественный магнезит, высокоглиноземное сырье, графит) и огнеупорных изделий, но и от поставок плавикового шпата (до 180 тыс.т) и бентонитов (более 300 тыс.т).

Общий объем производства огнеупорных материалов (на 2001 г.) в мире составил 24,5 млн.т, в т.ч. в Китае — около 10 млн.т, а в России в 2004 г. — 2,0 млн.т.

В 2004 г. семь основных производителей огнеупоров — ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», «Семилукский огнеупорный завод», «Сухоложский огнеупорный завод», «Первоуральский динасовый завод», «Комбинат «Магнезит», «ММК» и Богдановичское ОАО «Огнеупоры» создали огнеупорной продукции около 1,7 млн.т. За шесть месяцев 2005 г. эти предприятия произвели огнеупорных изделий 754,5 тыс.т, из которых высокоглиноземистые, корундовые, периклазуглеродистые и периклазшпинелидные составляют менее 12%. В мировой же практике на смену динасовым, полукислым и шамотным изделиям пришли периклазуглеродистые и оксидоуглеродистые огнеупоры микропористой структуры из MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 и композиций на их основе.

По данным Ассоциации «Огнеупорпром», отечественная металлургия в значительной степени зависит от поставок из Китая, Германии, Украины, США, Индии и других стран, в т.ч. от поставок (по данным на 01.01.2005 г.) магнезиальных огнеупоров — 53,8 тыс.т, изделий из минеральных веществ, содержащих Mg и Cr — 16,6 тыс.т, алюмосиликатных — 48,5 тыс.т и особо значимых на современном рынке огнеупорных изделий с химически связующими веществами, импорт которых в 2004 г. составил 28,8 тыс.т, а за первое полугодие 2005 г. — 26,9 тыс.т.

Расширение производства современных огнеупоров в России в значительной степени сдерживается состоянием минерально-сырьевой базы. ОАО «Магнезит» для выпуска огнеупорных изделий добывает и перерабатывает около 2,5 млн.т собственного сырья на Саткинском месторождении. Переход на подземный способ добычи и снижение качества сырья компенсируются за счет импорта сырья из Китая и созданием совместных предприятий на территории Китая. Освоение месторождений магнезита в Заанга-

рье и в Газимуро-Шилкинском районе сдерживается из-за неблагоприятных географо-экономических условий, а крупное Савинское месторождение в Восточной Сибири — из-за отсутствия эффективной технологии переработки сырья пониженного качества для производства спеченного и плавленнного магнезита.

В России отсутствует добыча высокоглиноземистых минералов (кианит, андалузит, силлиманит), в то время как мировая добыча постоянно растет и в 2003 г. она достигла 446 тыс.т (табл. 4). Основные запасы высокоглиноземных минералов (кианита) в России сосредоточены в Кейвских тундрах (99,4%) в сложных географо-экономических условиях. Для подготовки рентабельных к освоению минерально-сырьевой базы необходимы инвестиции в геологоразведочные работы в Красноярском крае, Республике Бурятия, на Урале. Определенные надежды для производства огнеупоров связаны с маложелезистыми бокситами Среднего и Южного Тимана.

4. Выпуск мировой продукции кианита, силлиманита и андалузита основными странами-производителями в 1999–2003 гг. По В.В.Щитцову (2005)

Страна	Товар	Год				
		1999	2000	2001	2002	2003
Австралия	Кианит	1000	1000	1000	1000	1000
	Силлиманит	100	100	100	300	300
Бразилия	Кианит	600	600	600	600	600
Китай (неофициальные данные)	Силлиманит	3000	3100	3150	3200	3200
Франция	Андалузит	70000	65000	65000	65000	65000
Индия	Кианит	5000	5000	5500	6000	6000
	Силлиманит	12000	12000	13000	14000	14000
ЮАР	Андалузит	136949	182674	193225	165000	220000
США	Кианит	90000	90000	90000	90000	90000
	Муллит синтетический	39000	40000	40000	40000	40000
Испания	Андалузит	2500	2500	2500	2500	2500
Зимбабве	Кианит	4000	10970	9682	5657	4000

Для производства огнеупоров требуется кристаллический графит. Мировое производство графита превышает 800 тыс.т. Основным поставщиком графита на мировой рынок в последние годы стал Китай, производящий около 340 тыс.т в год. Единственное разрабатываемое в России Тайгинское месторождение кристаллического графита поставляет на внутренний рынок не более 10 тыс.т графита. Дефицит в размере не менее 20–30 тыс.т покрывается за счет импорта. Для обеспечения внутренних потребностей необходимы инвестиции недропользователей в доизучение и разработку месторождения Союзное на Дальнем Востоке и постановка поисково-оценочных работ в перспективных районах Карело-Кольского региона и Урала.

Горнорудные предприятия в России производят около 220 тыс.т флюоритовых концентратов (5,1% от мирового уровня). Собственная добыча обеспечивает не более 60% потребности во флюоконцентратах и 30% — в кусковых концентратах, особенно ме-

таллургического назначения. Основной импорт поступает из Монголии и Китая (около 180–200 тыс.т).

В настоящее время прогнозно-поисковые, поисковые и оценочные работы на плавиковый шпат развернуты в районах приближенных к металлургическим комплексам на Южном Урале, в Красноярском и Алтайском краях, Читинской области.

Мировое производство бентонитов в последние годы держится на уровне 10 млн.т в год. Ведущими продуцентами являются США, Греция, Турция. В России в 2004 г. добыча бентонита достигла 234 тыс.т. Основной объем производства сосредоточен на двух предприятиях — ОАО «Хакасский бентонит» и ООО «Аргиллит», разрабатывающих месторождение «Десятый хутор» в Хакасии. На рынок эти предприятия поставляют, соответственно, 41,2 тыс.т высокомарочных формовочных и буровых бентопорошков и 142,4 тыс.т активированного комового бентонита. Дефицит в объеме не менее 300 тыс.т бентопродуктов покрывается за счет импорта из Греции, Индии, Азербайджана, Украины.

Проведенные геологоразведочные работы в последние годы на щелочные и щелочно-щелочноземельные бентониты подготовили для недропользователей минерально-сырьевые базы бентонитов на Северном Кавказе (Центральный участок Нальчикско-Черекской бентонитоносной зоны) и о.Сахалин (Восточно-Сахалинская зона).

Горно-химическое и горно-техническое сырье. Для ведущих видов горно-химического и горно-технического сырья характерно или практически полное отсутствие подготовленных запасов (высококачественный жильный барит, природная сода), или их недостаточность как в количественном, так и в качественном отношении (элювиальный каолин, самородная сера, борное сырье и др.), в связи с чем базовые отрасли обеспечивают свои потребности за счет импорта.

Около 80–85% добываемого барита потребляется нефтяной и газовой промышленностью, которая использует его в качестве утяжелителя глинистых растворов при бурении скважин. По оценочным данным в 2002 г. мировая добыча составила 5770 тыс.т барита, в т.ч. 2700 тыс.т — в Китае, 780 тыс.т — Индии, 370 тыс.т — США. Доля России в мировом производстве составляет около 1%.

Все производство барита и основная часть запасов сосредоточены на Полярном Урале и юге Сибири. Действующие мощности ОАО «Салаирский ГОК», «Хойлинский ГОК» и ОАО «Барит» обеспечивают не более 40% текущего его потребления. По оценочным данным ежегодно импортируется около 300 тыс.т «бурового» и 25 тыс.т высококачественного «небурового» барита для химической промышленности. Минерально-сырьевая база барита в России не позволяет обеспечивать прогнозируемый рост его потребления и покрытия импорта. Подготовленный резерв запасов практически отсутствует для организации крупных производств, в т.ч. и потому, что свыше 27% балансовых запасов из-за низкого качества руд нерентабельны к отработке, а рентабельные рассредоточены на мелких объектах. Основные задачи по воспроизводству минерально-сырьевой базы барита заключаются в создании сырьевой базы высококачественного

(жильного) барита и альтернативной сырьевой базы барита стратиформного типа месторождений в перспективных районах и, прежде всего, на Дальнем Востоке.

Каолин — одно из важнейших полезных ископаемых горно-технического профиля, которое используется в качестве химически инертных наполнителей, пигментов, керамического сырья, сорбентов и др. Мировое производство каолина оценивается в 40 млн.т/год, из них 13,5 млн.т низкокачественного необогащенного каолина добывается в Колумбии и Узбекистане. По добыче и производству обогащенного каолина Россия значительно уступает большинству развитых стран. Так, в США поставки каолина составили 7,45 млн.т, Бразилии добыто 2,1 млн.т, Великобритании — около 2 млн.т

В России основные запасы каолина и добыча сосредоточены на Урале в Челябинской и Свердловской областях на четырех предприятиях: АП «Свердловский керамический завод» (базовое Невьянское месторождение), ЗАО «Ксанта» (Кыштымское месторождение), ОАО «Новокаолиновый ГОК» (Еленинское месторождение) и ЗАО «Пласт-Рифей» (месторождение Журавлиный Лог). В 2004 г. было добыто 1080 тыс.т каолина сырца и получено обогащенного каолина 465,8 тыс.т. Однако это не покрывает потребности внутреннего рынка. За исключением ЗАО «Пласт-Рифей», где находятся лучшие по качеству каолины в России, минерально-сырьевая база остальных предприятий из-за низкого качества и (или) небольших запасов не позволяют расширить производство.

В результате проведенных и проводимых за последние годы геологоразведочных работ в пределах новой — Южно-Уральская каолиноносная провинция — крупнейшей в России провинции элювиальных каолинов, оценен и передан недропользователям ряд объектов — (Северо-Ушкотинский, Южно-Ушкотинский) и подготавливаются к передаче объекты в Текельдытаусском районе Оренбургской области.

Неметаллы и социально-экономическое развитие регионов. Осенью 2005 г. Президент Российской Федерации выступил с инициативой реализации четырех национальных проектов, в т.ч. «Доступное жилье» и «Эффективное сельское хозяйство». Эффективная реализация проектов по строительству жилья и развитию сельского хозяйства, как и развитию инфраструктуры межгосударственных и межрегиональных дорог (что уже заложено в федеральном бюджете на 2006 г.) будет невозможна без развития и освоения минерально-сырьевой базы природного минерального сырья для выпуска нерудных строительных материалов, цемента, гипса, сборного железобетона, теплоизоляционных и энергосберегающих материалов и других, а также использования так называемых *«местных агрономических руд»* (фосфатно-карбонатные и фосфатно-глауконитовые породы, торфовивианиты), торфа, сапропеля и др. Это особенно важно для решения социально-экономических проблем регионов (Федеральные округа Южный, Центральный, Приволжский), где проживает основное население, расположены основные сельскохозяйственные угодья, предприятия различных базовых комплексов, где быстро и масштабно развивается инфраструктура.

Состояние строительной индустрии — показатель экономического развития государства и его социальной политики. Можно лишь отметить, что, несмотря на более су-

ровые климатические условия в России производство теплоизоляционных материалов на душу населения (45 м^3 на 1000 жителей) на порядок меньше чем в США (500 м^3), Швеции (600 м^3), Японии (350 м^3).

При планируемом росте объема строительства к 2010 г. до 80 млн.м² выпуск цемента должен достичь 85–90 млн. т в год. Реально современные мощности цементной промышленности при максимальной загрузке позволяют обеспечить годовой выпуск не более 58 млн. т.

Холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ-групп», объединивший более 30% российских отраслевых активов, планирует строительство современного цементного завода в Липецкой области мощностью 1 млн.т (при возрастании потребности до 4 млн.т) и еще одного завода на 2 млн.т в Рязанской или Воронежской областях, учитывая что Центральный регион является крупнейшим потребителем цемента.

Особо необходимо подчеркнуть важность группы минерального сырья — адсорбентов (цеолиты, цеолитсодержащие и кремнистые породы, глаукониты и др.) для решения проблем в природоохранной деятельности, в первую очередь по экологической и экономической реабилитации загрязненных земель и водоемов, очистке и утилизации промышленных и сельскохозяйственных отходов и стоков в различных регионах страны (рис. 1).

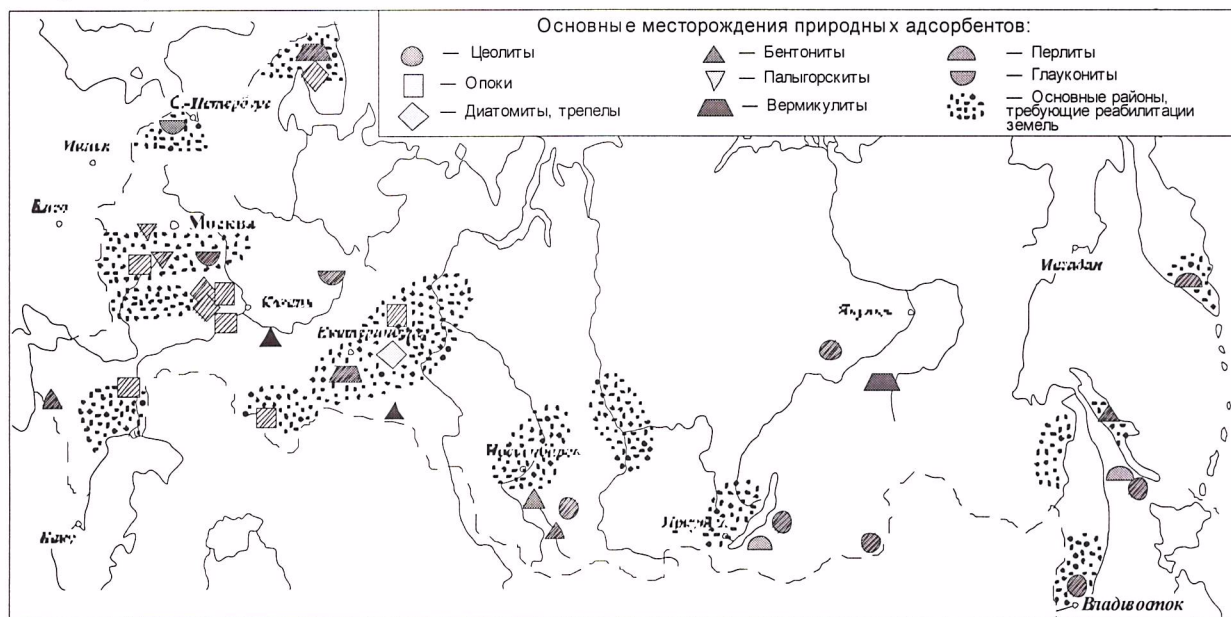


Рис. 1. Минерально-сырьевая база природных адсорбентов и основные районы, требующие реабилитации земель

Обратим внимание на реализацию в рамках Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы неметаллических полезных ископаемых. Роснедра, получив значительное финансовое обеспечение, широко развернуло геологоразведочные работы на неметаллы, в т.ч. и направленные на социально-экономическое обеспечение и развитие регионов, таких как Южный, При-

волжский и Центральный Федеральные округа, что позволило достаточно успешно решать поставленные задачи по воспроизводству минерально-сырьевой базы (рис. 2).

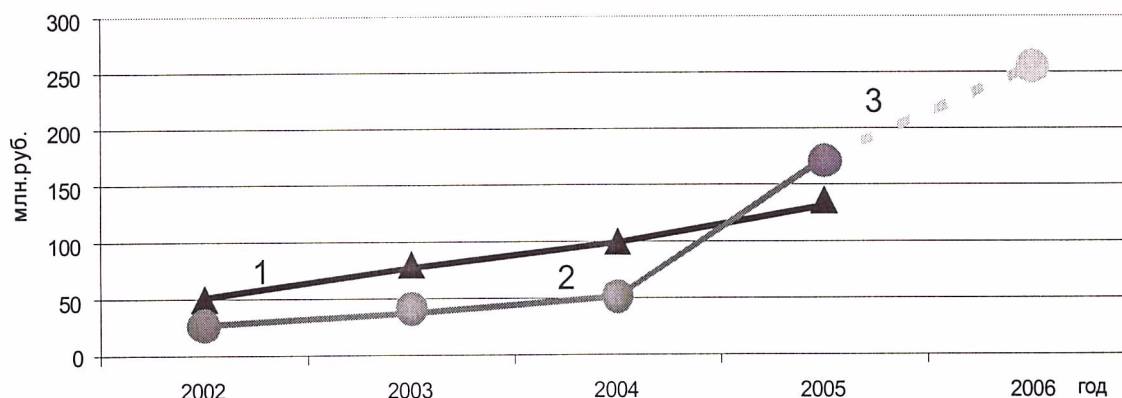


Рис. 2. Финансирование геологоразведочных работ на неметаллические полезные ископаемые за счет средств федерального бюджета в 2002–2006 гг.:

1 — плановые показатели на выполнение мероприятий по ФЦП «Экология и природные ресурсы России 2002–2010 годы», подпрограмма «Минерально-сырьевые ресурсы»; 2 — фактические показатели; 3 — по «Долгосрочной государственной программе изучения недр и воспроизводства МСБ России...»

Однако есть ряд проблем и задач, которые необходимо решать с целью эффективной реализации долгосрочной государственной программы и национальных проектов:

1. Усиление прогнозно-минерагенических исследований; количество перспективных площадей для постановки поисковых и оценочных работ крайне ограничено.

2. Проведение геолого-экономической и аналитико-технологической переоценки нераспределенного фонда недр с позиций современных тенденций развития и спроса рынка сырья.

3. Дальнейшее совершенствование и разработка инновационных технологий геологоразведочных работ, в первую очередь по повышению эффективности и достоверности поисковых и оценочных работ.

4. Повышение экспрессности и эффективности, с разработкой новых методов, аналитических исследований и технологических испытаний; создание наукоемкой, в т.ч. нанотехнологии для получения принципиально новых нанопродуктов, для чего необходима модернизация лабораторного аналитического и технологического оборудования базовых аналитико-технологических центров и лабораторий.

5. Необходимо внесение корректив в Долгосрочную государственную программу — базовую программу деятельности МПР России и Роснедра. В программе не учитывалось включение в государственный заказ объектов, решавших социально-экономические проблемы регионов по изучению дополнительного комплекса неметаллических полезных ископаемых, что стало задачей федерального уровня в связи с передачей полномочий на федеральный уровень от субъектов Российской Федерации по финансированию мероприятий по геологическому изучению недр.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

С.С.Вартанян, А.Г.Волчков (ЦНИГРИ)

Продолжая сложившуюся за многие годы традицию тесных связей отраслевой науки с производством, ЦНИГРИ в настоящее время осуществляет и координирует деятельность по научно-методическому сопровождению и обеспечению геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы, проводимых Федеральным агентством по недропользованию за счет средств федерального бюджета [2].

Цель научно-методического обеспечения и сопровождения геологоразведочных работ — полномасштабная реализация ранее созданных и новых научно-прикладных разработок и инновационных технологий при формировании и выполнении годовых программ геологоразведочных работ Федерального агентства по недропользованию через:

обоснование сырьевых и территориальных приоритетов геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы на основе результатов анализа прогнозно-металлогенических карт, созданных с использованием системы моделей месторождений и с учетом долгосрочных прогнозов воспроизводства минерально-сырьевой базы;

внедрение прогрессивных технологий (геологических, геофизических, геохимических, минералогических, металлогенических, технолого-аналитических, геолого-экономических) ведения геологоразведочных работ, начиная с их проектирования;

оптимизацию методов и методик работ на основе прогнозно-поисковых комплексов применительно к различным типам месторождений и условиям их нахождения, отраженным в прогнозно-поисковых и других моделях;

локализацию и оценку прогнозных ресурсов на основе «Методических руководств по оценке прогнозных ресурсов»;

определение эффективности и результативности геологоразведочных работ при оценках и переоценках прогнозных ресурсов.

Таким образом, среди других направлений работ Роснедра научно-методическое обеспечение и сопровождение объектов геологоразведочных работ занимает особое место и представляет собой систему реализации научных разработок и организационных мер по их внедрению в практику, заметно влияющих на эффективное и ускоренное воспроизводство фонда недропользования. Эти работы охватывают практически все технологические циклы выполнения ГРР: от обоснования постановки поисковых работ, составления геологического задания с определением оптимального комплекса видов и методов работ — через проведение полевых опытно-методических исследований и ревизионных работ с отбором контрольных проб для аналитико-технологических исследований — до апробации результатов геологоразведочных работ и оценок прогнозных ресурсов с рекомендациями о продолжении (или прекращении) работ.

Анализ ряда типовых геологических обстановок в вулканических областях России на основе использования геолого-поисковых моделей золотосеребряных месторождений, ассоциирующих с вулкано-плутоническими поясами, способствовал выделению серии новых перспективных площадей и обоснованию постановки поисковых работ в потенциально золотоносных вулканоструктурах центрального типа, сложенных дифференцированными вулкано-плутоническими комплексами девонского, мелового и неогенового возрастов, а в пределах этих структур локализовать рудные поля, которые, как правило, приурочены к центральным частям вулканоструктур (кальдеры, локальные вулкано-тектонические структуры), секторным блокам на склонах вулканоструктур, ограниченным дуговыми и радиальными разломами в ассоциации с субвулканическими и экструзивными телами средне-кислого состава.

Таким образом, в последние годы выделен новый Северо-Алтайский золотоносный пояс девонско-раннекаменноугольного возраста, который может иметь важное значение в подъеме золотодобычи Алтая и ранее рассматривался только как полиметаллическая провинция.

Объекты (Сурич, Курьинский, Каменный колодец, Майско-Лебедской и др.), выявленные к настоящему времени в пределах пояса, представлены жильно-прожилковыми зонами и штокверками и характеризуются содержаниями Au на уровне 5–10 г/т и 3–5 г/т, соответственно, при оцененных прогнозных ресурсах Au от 20 до 80 т и представляют значительный интерес для недропользователей. Объект Сурич в настоящее время лицензирован и недропользователем (ЗАО «Бурятзолото») в 2006 г. подтверждены данные о наличии на объекте промышленных золотосеребряных руд.

Аналогичные золотосеребряные объекты были выявлены в новых зонах на Востоке Российской Федерации — Чукотка (Кайемравеевская вулканоструктура в северной части Верхнеяблонской металлогенической зоны), Курильские острова (Лидинская вулканоструктура на о. Уруп). Месторождения носят одинаковое название — Купол, однако характеризуются разными морфологическими моделями рудных тел:

золотосеребряное месторождение Купол на Чукотке — жилы и жильные зоны с богатыми рудами (средние содержания Au 20–30 г/т) с запасами более 100 т.;

рудопоявление Купол на о. Уруп — линейный штокверк со средними содержаниями Au 5–8 г/т и оцененными ресурсами категории P_1+P_2 80 т.

В Европейской части России в пределах Днепровско-Донецкого авлакогена, который в течение многих десятилетий рассматривался только как угленосный бассейн, на основании геолого-поисковой модели прожилково-вкрапленных золотосульфидных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах было обосновано выделение металлогенической зоны с перспективами обнаружения большеобъемных месторождений золото-кварц-сульфидного типа с запасами 30–60 т и с относительно низкими содержаниями Au (2–3 г/т), отработка которых в современных условиях рентабельна.

В ходе геологоразведочных работ, проведенных в 2000–2005 гг., в пределах Барило-Крепинской, Галутинской, Грушевско-Кадамовской, Керчикской и Чернореченской

площадей были локализованы мощные и протяженные минерализованные зоны и коры выветривания, по которым получены пересечения с промышленными содержаниями золота. Общий потенциал Днепровско-Донецкой золоторудной зоны оценивается в 200 т, что позволяет прогнозировать возможность создания нового горнодобывающего комплекса в промышленном районе Донбасса.

Разработанное в предыдущие годы научное обоснование возможности выделения новой крупной сереброрудной провинции в Западном Верхоянье реализуется в настоящее время в мощную резервную минерально-сырьевую базу серебра, способную в полном объеме заменить осваиваемые месторождения Дукатского района Магаданской области или же стать дополнительным центром серебродобычи в России. Здесь, наряду с ранее выявленными сереброрудными месторождениями и рудопроявлениями с высокими концентрациями в рудах серебра и значительными ресурсами этого металла (Прогноз, Мангазейское, Хачакчан, Вешнее, Менкече), часть из которых предварительно разведана, в результате поисковых работ 2002–2005 гг. в пределах Мангазейского рудного поля и Кимпиче-Берелехского рудного узла выявлены, локализованы и оценены прогнозные ресурсы серебра P_1 — 10 000 т, P_2 — 20 000 т.

В целом в пределах Западно-Верхоянской провинции ожидается выявление прогнозных ресурсов серебра различных категорий в объеме около 60 000 т с содержаниями в рудах Ag 600–1000 г/т.

Яно-Колымская золоторудная провинция обретает свое новое рождение, что стало возможным в результате переоценки известных мелких кварцево-жильных месторождений и рудопроявлений золота на основе разработанных моделей (геолого-поисковой, морфометрической статистической и многофакторной количественной оценочно-разведочной). Эти модели были ориентированы на выявление крупнообъемных месторождений жильно-прожилковых и прожилково-вкрапленных золото-кварцевых руд, локализованных в терригенных и интрузивных комплексах [9].

Начиная с 2001 г., на территории провинции поисковыми работами за счет средств федерального бюджета был выявлен или переоценен ряд объектов, соответствующих двум геолого-поисковым моделям крупнообъемных месторождений. Это типы «наталкинский» (золото-кварцевые штокверки в терригенных углеродсодержащих породах) и «форт нокс» (золото-порфировые штокверки, связанные с интрузиями). К потенциальным объектам «наталкинского» типа относятся слабоизученные месторождения и рудопроявления: Дегдекан, Токичан, Верхнехакчанское, Юглеровское, Верхнеат-Юряхское и др.; к объектам типа «форт нокс» — Чумышское, Дубачское, Тэутэджакское и др. В итоге, по совокупности данных имеются все основания считать, что уникальная Яно-Колымская золотороссыпная провинция мирового класса, постепенно приобретает черты крупной золоторудной провинции.

Следовательно, на приведенных примерах можно видеть конкретные результаты использования системы моделей месторождений в практике геологоразведочных работ и оценить значение этого направления научно-прикладных исследований, интенсивно

развивавшегося старшим поколением ученых-геологов. В настоящее время мы благополучно «проедаем» эти научные разработки, практически мало восполняя их. В объектных планах МПР и Роснедра такие направления научно-исследовательских работ практически отсутствуют. В условиях существенного усиления геологоразведочных работ на территории России необходимо развитие научных исследований по совершенствованию прогнозно-поисковых моделей месторождений ведущих геолого-промышленных типов твердых полезных ископаемых и на этой основе:

обоснование обнаружения месторождений традиционных и новых типов в известных районах и новых рудных провинциях, зонах и районах;

обоснование выявления новых минерально-сырьевых баз приоритетных видов полезных ископаемых, включая оценку перспектив обнаружения месторождений новых и нетрадиционных типов.

Список литературы

1. Беневольский Б.И., Вартанян С.С., Кривцов А.И. и др. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов / Методическое руководство. Вып. «Золото» / Под ред. Б.И.Беневольского. — М., 2002.
2. Вартанян С.С., Аксенов А.М., Кременецкий А.А. и др. Научно-методическое обеспечение и сопровождение геологоразведочных работ // Руды и металлы. 2004. № 1. С. 56–59.
3. Кочнев-Первухов В.И., Кривцов А.И., Августинчик И.А., Заскинд Е.С. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов / Методическое руководство. Вып. «Никель и кобальт» / Под ред. А.И.Кривцова — М.: ЦНИГРИ, 2002.
4. Кривцов А.И., Константинов М.М., Кузнецов В.В. и др. Система моделей месторождений благородных и цветных металлов // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 11–31.
5. Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Медно-порфировые месторождения / Сер. «Модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» / Под ред. Кривцова А.И. — М., 2001.
6. Кривцов А.И., Кочнев-Первухов В.И., Конкина О.М. и др. Cu-Ni-МПГ месторождения норильского типа / Сер. «Модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» / Под ред. А.И.Кривцова — М., 2001.
7. Кривцов А.И., Волчков А.Г., Минина О.М. и др. Месторождения колчеданного семейства / Сер. «Модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» / Под ред. Кривцова А.И. — М., 2002.
8. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Волчков А.Г. и др. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов / Методическое руководство. Вып. «Медь» / Под ред. А.И.Кривцова — М., 2002.
9. Михайлов Б.К., Прусс Ю.В., Стружков С.Ф. Крупнообъемные золоторудные месторождения Центральной Колымы — объекты XXI века / Материалы выставки-конференции «Золото-2000». — М., 2001. С. 23–28.
10. Михайлов Б.К., Вартанян С.С., Волчков А.Г. Основные направления геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы золота за счет средств федерального бюджета в 2005 г. // Минеральные ресурсы России. 2005. № 3. С. 2–8.
11. Ручкин Г.В., Донец А.И. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах / Серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов» / Под ред. А.И.Кривцова — М., 2002.

ОПЫТ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОЙ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ И ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ, ИЗУЧАЕМЫХ ЗА СЧЕТ СРЕДСТВ ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТА

*С.С.Вартанян, И.А.Карпенко, Н.Г.Петраш, М.В.Карпухина, Д.А.Куликов,
А.А.Черемисин (ЦНИГРИ)*

Оперативная геолого-экономическая оценка (ГЭО) объектов прогнозно-поисковых (ППР) и поисково-оценочных работ (ПОР) осуществляется в соответствии с государственным контрактом № ВК-02-07/340 от 12 октября 2002 г. В этой публикации обобщены результаты ГЭО, выполнявшейся с 2003 г. по 2005 г. ЦНИГРИ (ответственный исполнитель), ЦНИИГеолнеруд, ВИМС, ИМГРЭ.

Цель оперативной ГЭО — формирование перечня объектов ППР и ПОР по приоритетности постановки геологоразведочных работ (ГРР) для использования при формировании годовых и среднесрочных программ геологоразведочных работ.

Основными методами решения задач по оперативной ГЭО являются следующие:

1. Сбор, обобщение и анализ материалов, характеризующих объекты ППР и ПОР, включающих геологическую характеристику, обоснование прогнозных ресурсов и запасов, характеристику природно-климатических, социальных и инфраструктурных условий объекта.

2. Формирование геолого-экономической модели оцениваемого объекта, включающей:

определение количества единичных объектов, входящих в площадь ППР и ПОР, на которой обоснованы прогнозные ресурсы;

выделение геолого-промышленных типов единичных объектов и их характеристика: масштабов, условий залегания и качества руд, распределения их на площади ППР и ПОР;

оценку возможных способов отработки единичного объекта, возможной производительности будущего предприятия;

оценку технологических свойств руд, схемы и вероятных показателей обогащения, видов и качества товарной продукции;

оценку географического положения и состояния инфраструктуры объекта ППР и ПОР, в том числе единичного объекта;

определение ценовых и стоимостных (затратных) показателей для данного района;

составление кадастра по объекту ППР и ПОР по разработанной форме, включая единичные объекты;

составление картографических материалов (по данным авторов), характеризующих положение объекта в регионе, геологическое строение объекта, условия залегания.

3. Расчет по каждому геолого-промышленному типу единичного объекта укрупненных технико-экономических показателей. В расчете используются эталонные модели,

аналоги или производится прямой счет (укрупненно) и содержит 11–12 показателей, в т.ч. эксплуатационные запасы (с учетом потерь и разубоживания для принятых систем разработки) производительности предприятия, коэффициент вскрыши, виды и качество товарной продукции, показатели извлечения полезных компонентов, объем товарной продукции, капитальные вложения, срок окупаемости, рентабельность предприятия. Результирующими показателями, на основании которых определяется потенциальная эффективность объекта, являются извлекаемая ценность, себестоимость 1 т руды, минимальное промышленное содержание полезного компонента, срок окупаемости капитальных вложений.

Результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов ППР и ПОР.

В 2003–2005 гг. выполнена оперативная геолого-экономическая оценка 76 объектов, в т.ч. 60 объектов с металлической металлогенией, 16 нерудного сырья. Так как на одном объекте ППР и ПОР может быть несколько геолого-промышленных типов потенциальных месторождений, для каждого из которых должна осуществляться оперативная ГЭО, общее число геолого-экономических моделей, по которым рассчитаны укрупненные технико-экономические показатели, составило 87, в т.ч. по металлам 71, нерудному сырью 16. Результаты оперативной ГЭО по каждой модели представлены на рисунках 1, 2, 3, 4 и в таблицах 1 и 2, где ГЭМ — геолого-экономические модели.

Для ранжирования геолого-экономических моделей по очередности постановки ППР и ПОР принята трехбалльная система с индексами 1, 2, 3. Под индексом 1 выделены модели, имеющие наиболее высокие положительные результирующие технико-экономические показатели: превышение извлекаемой ценности (Ц) 1 т руды над ее себестоимостью (Сб) в 1,2 и более раза; превышение фактического среднего содержания полезного компонента над минимальным промышленным содержанием не менее, чем в 1,2 раза. Эти показатели интерпретируются как коэффициенты эффективности. Индексом 2 обозначены объекты, имеющие граничные показатели эффективности — от 1,2 до 0,75, но на которых по имеющимся данным возможно выделение руд с лучшим качеством или более благоприятными условиями залегания. В частности таким условиям отвечают объекты ПОР на острове Уруп (золото), Юглеровской площади в Магаданской области и др. При коэффициенте эффективности модели менее 1–0,8 объекту ППР и ПОР присваивается индекс 3.

Полученные при оперативной геолого-экономической оценке моделей результаты обработаны по каждому объекту ППР и ПОР по видам минерального сырья и категориям ресурсов ($P_1 + P_2 + P_3$), а по благородным металлам также и по геолого-промышленным типам и отражены в таблицах 1 и 2.

Соответствующие результаты по благородным металлам и алмазам, дифференцированные по геолого-промышленным типам, представлены на рисунках 1 и 2. На рис. 3 показано распределение цветных, черных, редких металлов и нерудного сырья по очередности постановки ППР и ПОР по тем же критериям.

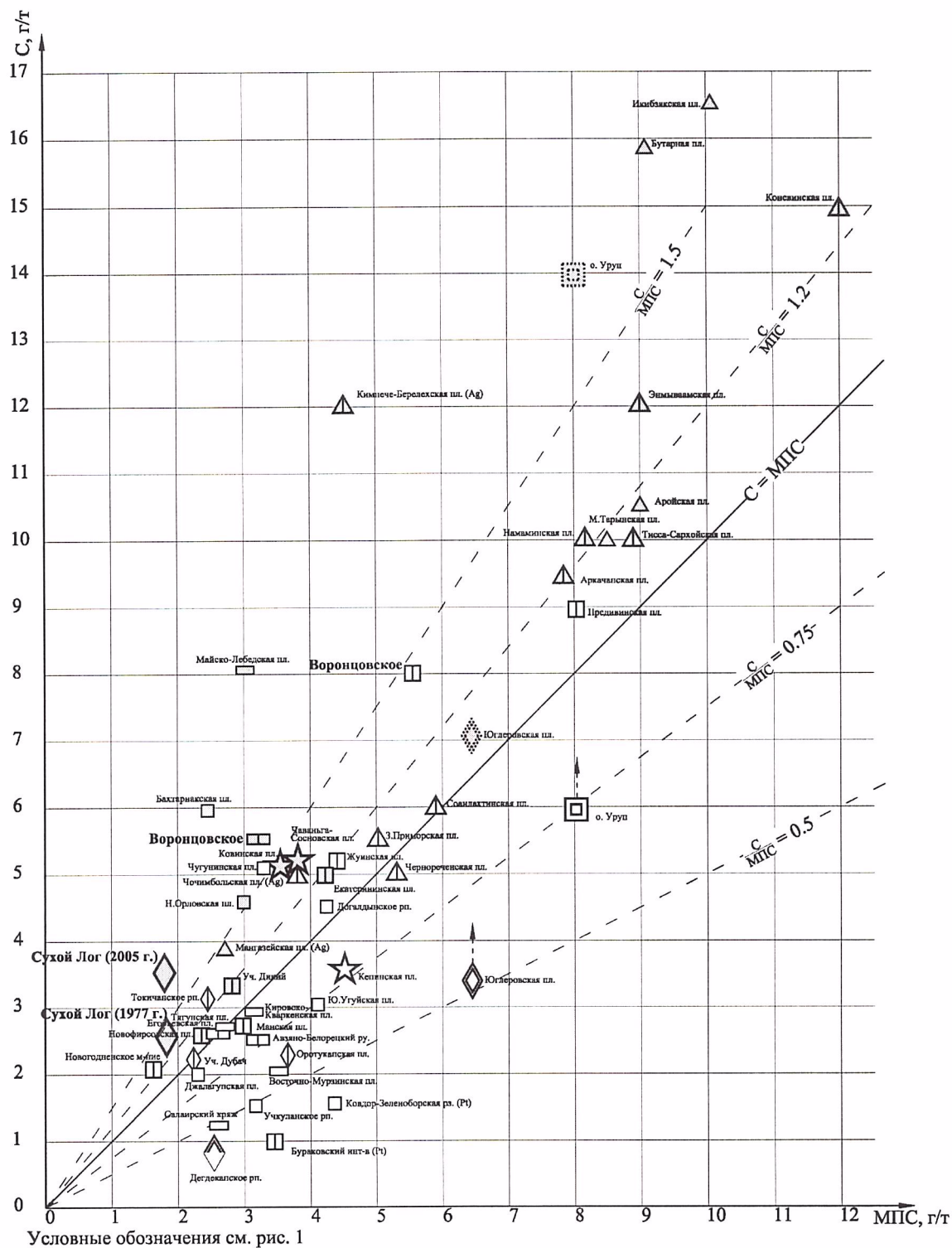


Рис. 2. Очередность ППР и ПОР исходя из соотношения среднего (С) и минимального-промышленного (МПС) содержаний благородных металлов и алмазов в руде по объектам геолого-экономической оценки:

условные обозначения см. рис. 1

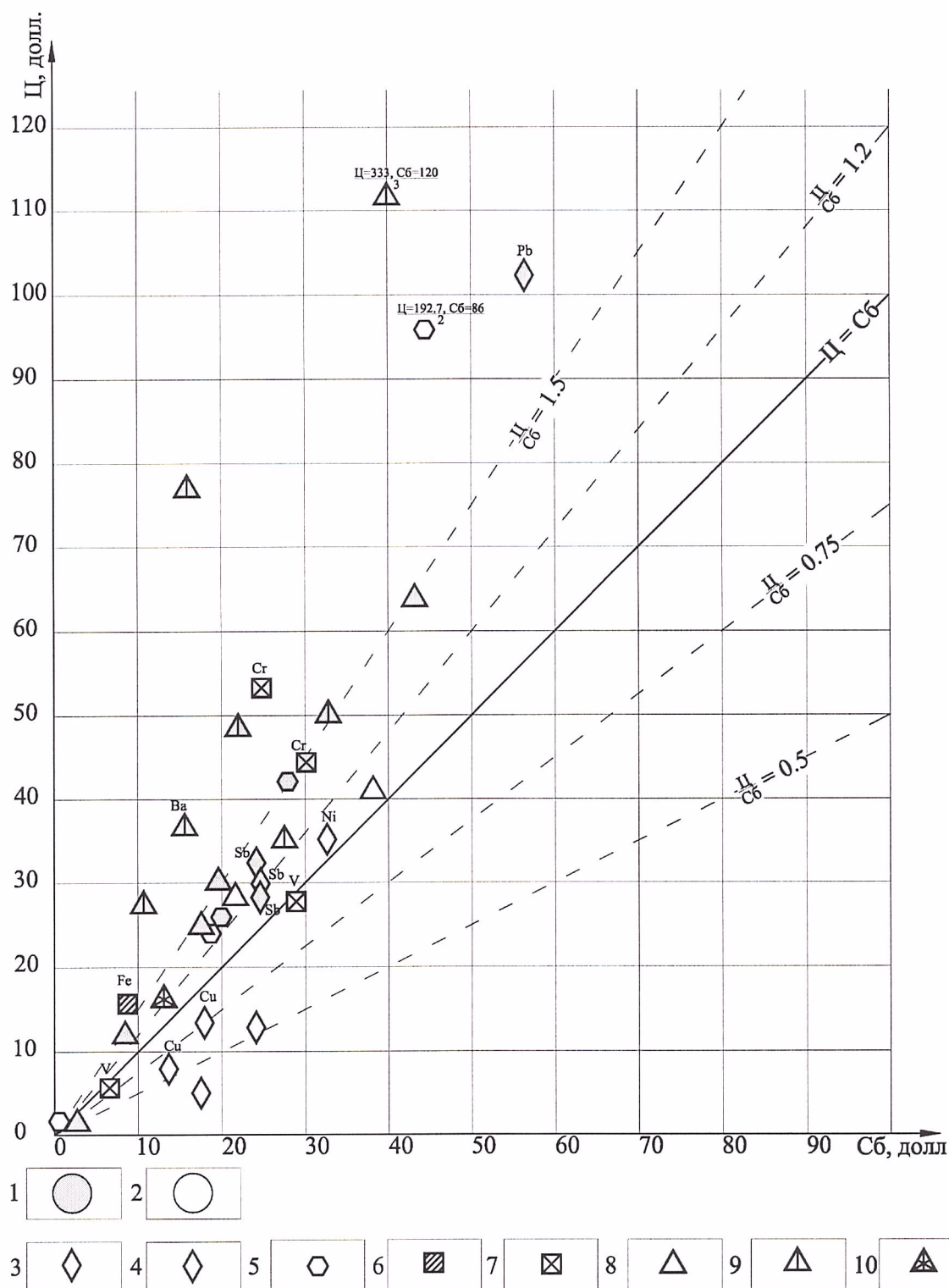


Рис. 3. Очередность ППР и ПОР на объектах цветных, черных, редких металлов и нерудного сырья по соотношению извлекаемой ценности и себестоимости 1 т руды:

1 — объекты первой очереди постановки ГРР; 2 — объекты второй и третьей очереди постановки ГРР; цветные металлы: 3 — Cu, Pb, Zn, 4 — Sb, Ni; редкие металлы: 5 — Li, Ta, Nb, Be, Zr, TR; черные металлы: 6 — Fe-V, 7 — Cr, V; нерудное сырье: 8 — горно-химическое сырье (фосфориты, апатиты, K-Mg сульфатные соли), 9 — горно-рудное сырье (барит, графит, мусковит, бентонит, каолин, флюорит), 10 — сырье для строительной промышленности (кварц-андалузит, кварц-силлиманит, кварцевые пески)

1. Результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов ППР и ПОР в 2003–2005 гг.

Группа полезных ископаемых	Полезный компонент	Всего				Первая очередь				Вторая и третья очереди			
		Число ГЭМ, % шт.		Ресурсы, % в т.ч.		Число ГЭМ, % шт.	Ресурсы, % в т.ч.		Число ГЭМ, % шт.	Ресурсы, %	Р ₁ +Р ₂ +Р ₃	в т.ч.	
				Р ₁ +Р ₂ +Р ₃	Р ₁ +Р ₂	Р ₃							Р ₃
<i>Благородные металлы</i>													
Au		<u>100</u> 43	100	79,1	20,9		34,9 15	32,7	17,7	13,8	65,1 28	60,2	7,1
Ag		<u>100</u> 3	100	99,6	0,4		<u>66,7</u> 2	76,4	76,0	0,4	<u>33,3</u> 1	23,6	
Pt		<u>100</u> 2	100	61,5	38,5						<u>100</u> 2	61,5	38,5
Итого:		<u>100</u> 48					<u>35,4</u> 17				<u>64,6</u> 31		
Алмазы		<u>100</u> 4	100	100			<u>50,0</u> 2	41,2	41,2		<u>50,0</u> 2	58,8	
Цветные металлы (Cu, Ni, Pb, Zn, Sb)		<u>100</u> 10					<u>40,0</u> 4				<u>60,0</u> 6		
Черные металлы (V, Fe, Cr)		<u>100</u> 5					<u>60,0</u> 3				<u>40,0</u> 2		
Редкие металлы (TR+Y, TR+Ce, ксенотим, монацит)		<u>100</u> 4					<u>25,0</u> 1				<u>75,0</u> 3		
<i>Нерудное сырье</i>													
Горно-химическое сырье (соли, апатит, фосфориты)		<u>100</u> 4					<u>100,0</u> 4						
Горно-рудное сырье (флюорит, барит, бентонит, графит, мусковит, каолин)		<u>100</u> 10					<u>90,0</u> 9				<u>10,0</u> 1		
Сырье для строительной промышленности (силиманит, кварцевый песок)		<u>100</u> 2					<u>50,0</u> 1				<u>50,0</u> 1		
Итого:		<u>100</u> 16					<u>87,5</u> 14				<u>12,5</u> 2		
ВСЕГО объектов:		<u>100</u> 87					<u>47,1</u> 41				<u>52,9</u> 46		

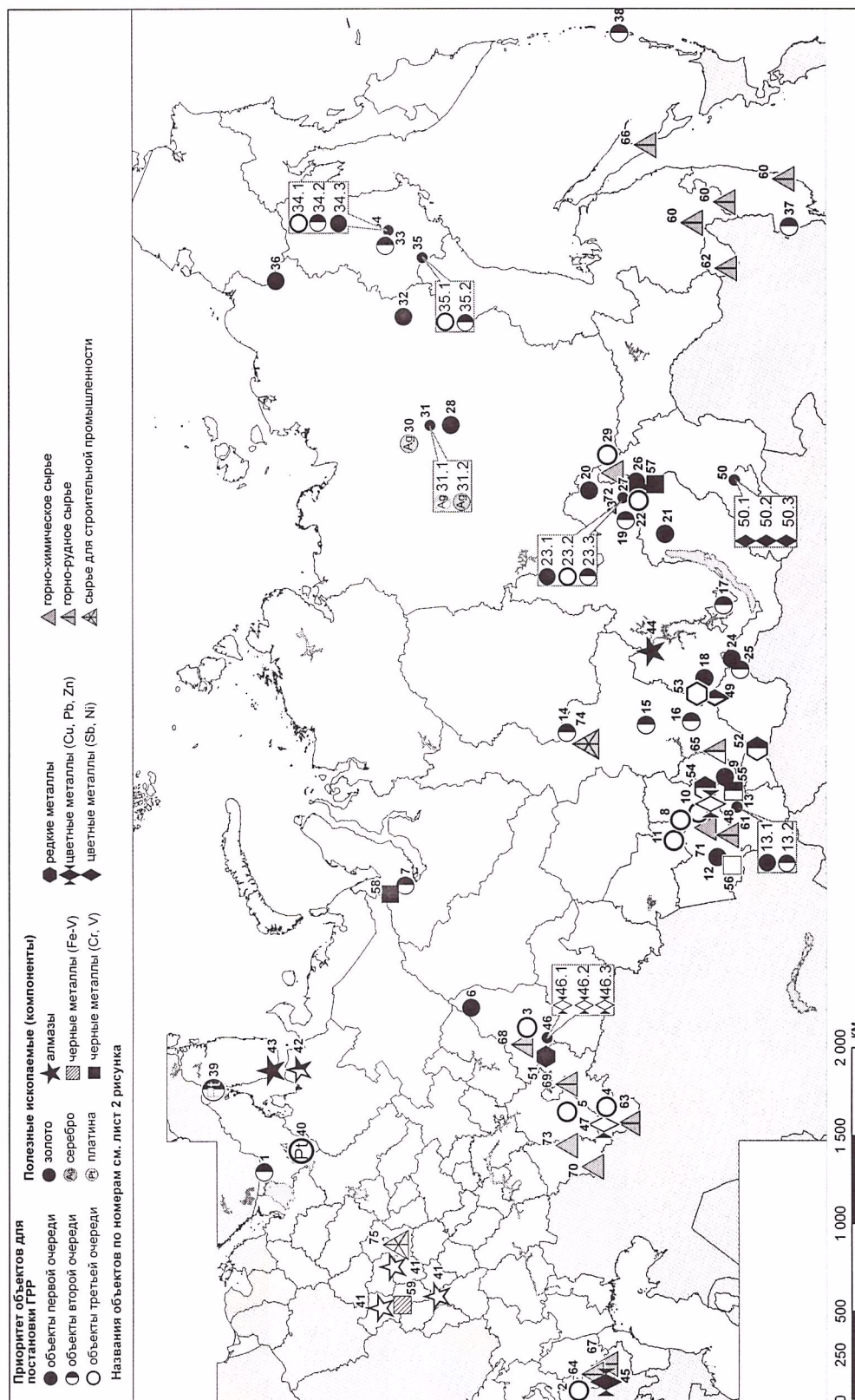


Рис. 4. Результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов ППР и ПОР за 2003–2005 гг.

Рис. 4. Размещение объектов оперативной геолого-экономической оценки ППР и ПОР за 2003–2005 гг.:

Объекты ГЭО: 1 – Соанлахтинская перспективная площадь. Республика Карелия; 2 – Учкуланское рудное поле. Карачаево-Черкесская Республика; 3 – Восточно-Мурзинская рудная зона. Свердловская обл.; 4 – Кировско – Кваркенский рудный район. Оренбургская обл.; 5 – Авзяно-Белорецкий рудный район. Республика Башкортостан; 6 – Екатерининская площадь. Свердловская обл.; 7 – Новогодненское рудное поле. Уч. Западный. Ямало-Ненецкий АО; 8 – Салаирский кряж. Кемеровская обл.; 9 – Майско-Лебедский рудный узел. Алтайский кр.; 10 – Тягунская перспективная площадь. Алтайский кр.; 11 – Егорьевский зорлоторудный район. Новосибирская обл.; 12 – Новофирсовская перспективная площадь. Алтайский кр.; 13 – Ульменская перспективная площадь. Горный Алтай. Западный Саян; 13.1 – Чойское рудопроявление; 13.2 – Чугунинская перспективная площадь; 14 – Чернореченская площадь. Эвенкийский АО. Красноярский кр.; 15 – Предивинская площадь. Красноярский кр.; 16 – Манская золоторудная зона Восточного Саяна. Красноярский кр.; 17 – Бураевская площадь. Иркутская обл.; 18 – Аройское рудное поле. Иркутская обл.; 19 – Жуинская площадь. Иркутская обл.; 20 – Икибзякская площадь. Иркутская обл.; 21 – Намаминская площадь. Северо-Байкальский рудный район. Респ. Бурятия; 22 – Северное обрамление Муйской глыбы (Мамакан-Янгудская золоторудная зона). Респ. Бурятия; 23 – Каралонский участок; 23.1 – Нижне-Орловское рудопроявление. Респ. Бурятия; 23.2 – Догалдынское рудное поле. Иркутская обл.; 23.3 – Джалагунское рудное поле. Иркутская обл.; 24 – Коневинское рудное поле. Респ. Бурятия; 25 – Тисса-Сархойская площадь Окинский район. Респ. Бурятия; 26 – Бахтарнакское рудное поле. Бахтарнакское рудопроявление. Читинская обл.; 27 – Бахтарнакское рудное поле. Участок Дикий. Читинская обл.; 28 – Аркачанский и Ньюэктаминский рудные узлы. Респ. Саха (Якутия); 29 – Южно-Угуйская площадь, Олекминский улус. Респ. Саха (Якутия); 30 – Кимпече-Берелехский рудный узел. Респ. Саха (Якутия); 31 – Западно-Верхоянская минерализованная зона; 31.1 – Чочимбольское и Кысылтасское рудные поля. Респ. Саха (Якутия); 31.2 – Мангазейское Рудное поле. Респ. Саха (Якутия); 32 – Мало-Тарынское рудное поле. Респ. Саха (Якутия); 33 – Юглеровское рудное поле. Магаданская обл.; 34 – Оротуканская площадь. Магаданская обл.; 34.1 – Участок Оротуканский. Магаданская обл.; 34.2 – Участок Дубач. Магаданская обл.; 34.3 – Участок Бутарный. Магаданская обл.; 35 – Центрально-Колымский район. Магаданская обл.; 35.1 – Дегдеканское рудное поле. Магаданская обл.; 35.2 – Токичанское рудное поле. Магаданская обл.; 36 – Энмываамская перспективная зона. Чукотский АО.; 37 – Западно-Приморская площадь. Приморский кр.; 38 – Остров Уруп. Курильские острова; 39 – Ковдор-Зеленоборская рудная зона. Мурманская обл.; 40 – Бураковский расслоенный интрузив. Мурманская обл.; 41 – Унечская, Воронежская, Калужская площади. Центральный район РФ.; 42 – Кепинская площадь. Архангельская обл.; 43 – Чаваньга-Сосновская площадь. Мурманская обл.; 44 – Ковинская площадь. Магдонский участок. Иркутская обл.; 45 – Садонский рудный район. Северная Осетия-Алания.; 46 – Каменско-Сафьяновская минеральная зона. Свердловская обл.; 46.1 – Рудопроявление Куртугуз. Свердловская обл.; 46.2 – Восточно-Бобровское рудопроявление. Свердловская обл.; 46.3 – Сосновское рудопроявление. Свердловская обл.; 47 – Ивановско-Дергамышская площадь. Респ. Башкортостан.; 48 – Талинская площадь. Кемеровская обл.; 49 – Канская металлогеническая зона. Иркутская обл. Красноярский кр.; 50 – Солонцовая площадь. Читинская обл.; 50.1 – Рудопроявление Южное. Читинская обл.; 50.2 – Месторождение Дельмачик. Читинская обл.; 50.3 – Месторождение Булыктинское. Читинская обл.; 51 – Сысертско-Тюбукская площадь. Свердловская и Челябинская обл.; 52 – Карасугское месторождение. Респ. Тыва.; 53 – Туманшет-Тегурская площадь. Иркутская обл.; 54 – Ташелгинский рудный район. Кемеровская обл.; 55 – Мрасская площадь. Кемеровская обл.; 56 – Харловский рудный узел. Алтайский кр.; 57 – Шаманский ультрабазитовый массив хромитов. Читинская обл.; 58 – Южная часть ультраосновного массива Сыум-Кеу. Полярный Урал.; 59 – Новоялтинское месторождение. Орловская обл.; 60 – Баджалская, Центральная и Прибрежная СФЗ Дальневосточной провинции; 61 – Моховской участок и Байско-Есинская площадь. Респ. Хакасия.; 62 – Союзное месторождение. Еврейская АО.; 62 – Саздинская площадь. Оренбургская обл.; 64 – Нартийский участок. Северный Кавказ; 65 – Приенисейский район Алтае-Саянской провинции. Респ. Хакасия; 66 – Восточно-Сахалинская площадь. Сахалинская обл.; 67 – Цраудонский участок. Северная Осетия-Алания; 68 – Адуйский участок. Свердловская обл.; 69 – Суранская рудоносная зона. Участок Южно-Суранский. Респ. Башкортостан; 70 – Илекская площадь. Оренбургская обл.; 71 – Аламбаевская площадь. Алтайский кр.; 72 – Холболок-Урагинская площадь. Читинская обл.; 73 – Шарлыкская площадь. Оренбургская обл.; 74 – Северо-Енисейская площадь. Красноярский кр.; 75 – Крестовский участок. Московская обл.

2. Результаты оперативной геолого-экономической оценки объектов ППР и ПОР в 2003–2005 гг.
по геолого-промышленным типам месторождений благородных металлов

Геолого-промышленный тип месторождений	Всего			Первая очередь			Вторая и третья очередь		
	Число ГЭМ, % шт	Ресурсы, %		Число ГЭМ, % шт	Ресурсы, %		Число ГЭМ, % шт	Ресурсы, %	
		P ₁ +P ₂ +P ₃	в т.ч. P ₁ +P ₂ P ₃		P ₁ +P ₂ +P ₃	в т.ч. P ₁ +P ₂ P ₃		P ₁ +P ₂ +P ₃	в т.ч. P ₁ +P ₂ P ₃
Жилы, жилые зоны (жильно-прожилковые руды золото-кварцевые, золотосульфидно-кварцевые)									
Au	$\frac{30,2}{13}$	36,3	74,7 25,3	$\frac{69,2}{9}$	62,0	40,0 22,0	$\frac{30,8}{4}$	38,0	34,7 3,3
Ag	$\frac{100,0}{3}$	98,8	100,0	$\frac{66,7}{2}$	76,1	76,1	$\frac{33,3}{1}$	23,9	23,9
Минерализованные зоны, включая скарны (прожилково-вкрапленные руды) золотосульфидные									
Au	$\frac{41,9}{18}$	27,3	61,3 38,7	$\frac{27,8}{5}$	33,3	12,0 21,3	$\frac{72,2}{13}$	66,7	49,3 17,5
Ag	$\frac{100,0}{2}$	100,0	64,4 35,9 38,5	$\frac{100,0}{2}$	100,0	64,4 35,6	$\frac{100,0}{2}$	100,0	61,5 38,5
Pt	$\frac{11,6}{5}$	21,7	94,6 5,4				$\frac{100,0}{5}$	100,0	94,6 5,4
Объекты в черносланцевых комплексах (вкрапленные, прожилково-вкрапленные руды), Au	$\frac{16,3}{7}$	14,7	100,0	$\frac{14,3}{1}$	7,3	7,3	$\frac{85,7}{6}$	92,7	92,7
Коры химического выветривания, Au	$\frac{100,0}{4}$	100,0	100,0	$\frac{100,0}{4}$	70,6	70,6	$\frac{100,0}{4}$	29,4	29,4
Кимберлитовые трубки, алмазы									
ВСЕГО:									
Золото	$\frac{100,0}{43}$	100,0	79,1 20,9	$\frac{34,9}{15}$	32,7	18,9 13,8	$\frac{65,1}{28}$	67,3	60,2 7,1
Серебро	$\frac{100,0}{3}$	100,0	99,6 0,4	$\frac{66,7}{2}$	76,4	76,0 0,4	$\frac{33,3}{1}$	23,6	23,6
Платина	$\frac{100,0}{2}$	100,0	61,5 38,5				$\frac{100,0}{2}$	100,0	61,5 38,5
Итого объектов:	$\frac{100,0}{48}$			$\frac{35,4}{17}$			$\frac{64,6}{31}$		

В целом по всем видам полезных ископаемых к объектам первой очереди для постановки ППР и ПОР отнесено 47% моделей; остальные являются объектами 2 и 3 очереди.

Результаты оперативной геолого-экономической оценки по отдельным группам минерального сырья заключаются в следующем.

Благородные металлы (Au, Ag, Pt). Геолого-экономические модели этих металлов представлены четырьмя геолого-промышленными типами и четырьмя группами месторождений по масштабу запасов, характеристики которых отражены на рис. 1 и в табл. 2. На первый геолого-промышленный тип месторождений благородных металлов (жилы и жильные зоны) приходится 36% прогнозных ресурсов; на тип минерализованных зон — 27%; с объектами в черносланцевых комплексах связано 22%; с корами выветривания — 15%.

Из общего числа геолого-экономических моделей по благородным металлам (48) к объектам первой очереди отнесено 17 моделей (35%). В них сосредоточено 33% прогнозных ресурсов золота категорий $P_1+P_2+P_3$, и 76% ресурсов серебра (включая попутное серебро). Остальные объекты (65%) и ресурсы Au (67%), Ag (24%) и Pt (100%) в них являются объектами второй и третьей очереди для постановки ППР и ПОР.

Наиболее эффективный геолого-промышленный тип месторождений золота — жилы и жильные зоны, в которых сосредоточено 62% ресурсов золота категорий $P_1+P_2+P_3$ и которые отнесены к первой очереди; минерализованные зоны содержат 33% ресурсов $P_1+P_2+P_3$ для первой очереди работ (28% объектов); 7% ресурсов в корях выветривания (1 объект) являются первоочередными (Майско-Лебедский рудный узел). Все объекты и ресурсы золота в черносланцевых комплексах и 86% ресурсов в корях выветривания относятся к объектам ППР и ПОР второй и третьей очереди. Этот результат обусловлен низким качеством и сложными условиями залегания руд.

Месторождения серебра типа жил и жильных зон в основной своей части (67% по числу объектов и 76% по количеству прогнозных ресурсов) и все ресурсы в минерализованных зонах (попутное серебро) являются первоочередными для постановки ППР и ПОР.

К объектам первой очереди принадлежит 50% объектов (месторождений) алмазов кимберлитового типа, содержащих 41% ресурсов категорий P_1+P_2 .

Основная проблема для эффективной реализации прогнозных ресурсов золота, связанных с черносланцевыми комплексами, — выявление обстановок, обуславливающих формирование руд более высокого качества в сравнении с представленным (0,85–2,5 г/т), залегающих в более благоприятных горно-геологических и гидрогеологических условиях и характеризующихся лучшими технологическими свойствами руд.

ГЭМ типа кор выветривания представлены, как правило, мелкими месторождениями, характеризующимися низкими (1,2–3 г/т) содержаниями золота, неблагоприятными условиями залегания с высоким коэффициентом вскрыши (3–5 м³/т), нередко глинистыми плохо проницаемыми рудами (Егорьевское), что определяет результат ГЭО.

Цветные металлы представлены 10 геолого-экономическими моделями (см. табл. 1), четыре из них (3 — сурьмяные, 1 — свинцово-цинковая) отнесены к первоочередным.

Все медные и медно-цинковые модели (Каменско-Сафьяновская зона), медные с кобальтом (Ивановско-Дергамышская площадь, Республика Башкирия), самородная медь (Кемеровская область, Талинская площадь ПОР) и сульфидный никель (Иркутская область) отнесены к объектам второй–третьей очереди из-за низкого качества руд, неблагоприятных условий залегания, сложных географо-экономических условий (никель).

Черные металлы представлены 5 геолого-экономическими моделями, 3 из которых (60%) отнесены к первоочередным, в т.ч. 2 объекта хромитовых руд, 1 — железных.

К объектам *редких металлов* отнесены 4. Один из них — редкие земли иттриевого типа в корях выветривания (Сысертско-Тюбукская площадь в Свердловской и Челябинской областях) — являются первоочередными.

Нерудное минеральное сырье характеризуется ресурсами: горно-рудными (барит, графит, мусковит, бентонит, каолин, флюорит) на 10 объектах; горно-химическими (фосфориты, апатиты, калий-магниевыми сульфатными солями) на 4-х объектах и строительного на 2-х объектах. Всего 16 объектов, 14 из них — объекты первой очереди для постановки ППР и ПОР.

Выводы:

1. Наиболее высокой инвестиционной привлекательностью обладают объекты нерудного сырья, что обусловлено высокой стоимостью товарной продукции при сравнительно низких издержках на их добычу и переработку. Другим видом минерального сырья по инвестиционной привлекательности являются по той же причине хромиты.

Из месторождений золота и серебра лучшими технико-экономическими показателями характеризуются геолого-экономические модели первого и второго геолого-промышленного типа (жилы и жильные зоны золотокварцевые, золотосеребро-кварц-сульфидные; минерализованные зоны золото- (серебро-) сульфидные). Наихудшие экономические показатели свойственны цветным металлам, а также месторождениям золота в черносланцевых толщах и корях выветривания.

2. Оперативная геолого-экономическая оценка объектов ППР и ПОР — эффективный инструмент, позволяющий дифференцировать такие объекты по приоритетности постановки геологоразведочных работ по экономическим критериям. При наличии на объекте ППР и ПОР нескольких геолого-промышленных типов прогнозируемых месторождений по результатам оперативной геолого-экономической оценки возможна локализация площадей за счет исключения из первоочередных для постановки геологоразведочных работ участков с худшими технико-экономическими показателями.

3. Результаты оперативной геолого-экономической оценки позволяют ориентировать исполнителей работ на выявление руд, характеризующихся наибольшей инвестиционной привлекательностью.

4. Для реализации возможностей оперативной геолого-экономической оценки она должна стать составной частью работ по научно-методическому сопровождению объектов ППР и ПОР в качестве их результирующего элемента, как при проектировании геологоразведочных работ, так и после их завершения.

МОДЕЛИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА РОССИИ

Н.М.Риндзюнская, Е.В.Матвеева, О.С.Набровенков, В.П.Филиппов (ЦНИГРИ)

В основу геолого-поисковых моделей россыпных месторождений положена геолого-генетическая типизация россыпей, отражающая закономерности их формирования, связь с коренными и промежуточными источниками питания, условия залегания в зависимости от динамики морфоструктурных и геоморфологических процессов, климатических и постседиментационных изменений, возникших в результате наложения корообразования ледниковой деятельности, криолитогенеза, эрозионно-аккумулятивной или абразионно-аккумулятивной деятельности рек, прибрежно-морских процессов и корообразования. Учитывается также вещественный состав россыпей, их возрастной диапазон, параметры месторождений и другие характеристики (таблицы 1 и 2).

При типизации россыпей и характеристики их поисковых моделей использованы работы И.С.Рожкова, А.П.Божинского, Н.А.Шило, С.С.Смирнова, Е.Я.Синюгиной, Ю.П.Казакевич, И.Б.Флерова, Н.М.Риндзюнской, Н.Г.Патык-Кара и др.

В зависимости от главных экзогенных процессов, формирующих россыпь за счет разрушения коренных источников, выделяются следующие типы россыпных месторождений, образующих определенную систему, как в эволюционном, так и латеральном ряду: элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские (древних и современных береговых линий морей и озер, шельфовых зон).

Кроме того можно выделить ряд переходных типов россыпей, образованных в результате взаимодействия нескольких процессов.

При формировании россыпей в изменяющихся морфоструктурной, геоморфологической и климатической обстановках, образуются месторождения сложных типов: многопластовые россыпи с различными взаимосвязями разновозрастных мелкозалегающих и погребенных россыпей.

Следует отметить, что россыпь, формирующаяся под воздействием одних и тех же процессов, например, аллювиальных, образует разные генетические подтипы в высокогорных, низкогорных странах и на пенепах, что обусловлено различными уклонами продольных профилей и динамикой русловых процессов.

В основу поисковых моделей россыпей положены: 1) типовые геологические и металлогенетические обстановки формирования коренных источников питания определенных рудно-формационных типов, продуцирующих золото различной крупности; 2) типовые морфоструктурные и геоморфологические обстановки, определяющие закономерности концентрации кластогенного золота в различных экзогенных коллекторах (долины мелкозалегающие и погребенные, долины-грабены, внутриконтинентальные и периконтинентальные впадины, зоны тектонических уступов на границе блоков земной коры с разнонаправленным знаком движений).

1. Характеристика основных типов россыпных месторождений золота

Россыпи — типы и подтипы	Условия залегания	Вещественный состав пластов, залежей технологическая характеристика, минеральные типы	Средние содержания, г/м ³ (г/т)	Гранулометрические характеристики, %			
				+0,25 мм	−0,25 +0,05 мм	−0,05 мм	
1	2	3	4	5	6	7	
Элювиальные, элювиально- склоновые	Мелкозалегающие	Щебнисто-дресвянистые. Золото свободное, «гравитационное» (40–80%) и в сростках с кварцем, гидрослюдами железа, вмещающими породами	0,2–3 (1–10)	50–70	10–30		
	Погребенные в карсте	Щебнисто-песчано-глинистые (глины 30–60%). Золото свободное, «гравитационное» и тонкодисперсное, золото в сростках с кварцем		40–50	30–40	10–20	
Проловиальные <i>Долин ложков и ручьев</i>	Мелкозалегающие и погребенные в долинах и карстовых депрессиях	Щебнисто-песчано-галечниковые, щебнисто-валунные (Q). Золото свободное, «гравитационное».	0,2–10	50–80	10–40		
		Щебнисто-глинисто-галечниковые (глины 20–80%) (P, N, Q). Золото свободное, «гравитационное», тонкодисперсное		40–60	30–70	10–30	
Проловиальных <i>ишлейфов</i>	В зонах влияния тектонических уступов	Песчано-глинисто-щебнисто-галечные	0,2–0,5		20–70		
	Мелкозалегающие Q ₃₋₄ в поймах рек, на террасах	Валунно-галечные, песчано-галечные, лекообогащенные, труднообогащенные	0,2–0,5 реже 1–3	40–60	30–40	–	
	Погребенные в долинах, впадинах, карсте: Q ₁₋₃	Валунно-галечные, галечные, песчано-галечные, лекообогащенные Золото «гравитационное»		60–80	20		
	Погребенные N ₂ –Q ₁ , N ₁ , P	Глинисто-галечные, содержание глинистой фракции 15–40% труднообогащенные Золото свободное, «гравитационное» и тонкодисперсное	2–4	40–60	30–50		
Флювиальных всеров в зонах влияния тектонических уступов	Мелкозалегающие, погребенные. В зонах влияния тектонических уступов: в бортах долин грабенных, континентальных и приморских впадин, в прибрежно-морских зонах	Галечные, валунно-галечные потоковой фации, песчаные, песчано-илистые в верной и застойной фации. Золото свободное, «гравитационное»		40–70	60–80		
	Конуса выноса ложков в зонах влияния тектонических уступов	Щебнистогалечниковые (Q) Песчано-валунно-галечниковые (Q). Золото свободное, гравитационное. Глинисто-щебнисто-галечные (P, N, Q) Золото свободное, гравитационное и тонкодисперсное	0,2–20	50–80	20–30	10	
				30–50	30–70	10–30	

1	2	3	4	5	6	7
Россыпи прибрежно-морских зон (современных и древних)	Надводные, подводные, Q, N	Песчаные, песчано-галечниковые. Золото свободное, «гравитационное»		70–80		
Депрессионных зон	В эрозионно-структурно-карстовых, карстовых депрессиях, долинах-грабенах, межгорных и приморских впадинах	Глины, алевроиты (30–90%), пески кварцевые и глинистые, галечники глинистые, глинисто-щебнисто-галечниковые отложения, горизонты охр и сливных гидроксидов железа (пласты Q ₃₋₄ , N ₁₋₂ , P ₃ ⁵ , K ₂ , J ₂₋₃ , J ₁). Золото свободное, «гравитационное», тонкодисперсное	0,2–1 (0,5–5)	20–50	30–90	10–60
Техногенные (отвалы ком-плексов) и отвалы ШОФ	Мелкозалегающие в долинах рек, логов, прибрежно-морских зонах (в пределах горных отводов действующих и закрытых предприятий	Валунно-галечные, илесто-глинистые (эфеля). Золото свободное, «гравитационное» и в сростках	0,2–0,5 до 1 (до 2–5)	20–30	40–80	

2. Характеристика основных типов россыпных месторождений золота

Типы и подтипы россыпей	Параметры месторождений			Запасы металла в месторождениях, числящихся на балансе		Способы обогащения	Перспективы	Примеры месторождений
	Длина м	Ширина м	Мощность, м	рядовые	наиболее крупные			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Россыпи элювиальные, элювиально-склоновые	Десятки м	Десятки – сотни	1–10	Десятки килограммов	Сотни килограммов	Гравитация с доизвлечением золота из хвостов	Возможно открытие мелких объектов с гравитационным золотом	Белая гора (Приморье), Со-сновый (ХМАО), нижн. пласт рос. Алексеевский увал, Ка-занцевский карьер Екате-рининской россыпи Урала
Проловиальные:								
Долин ложков и ручьев	0,5–10 км	20–50	2–3 до 10	Десятки – сотни кило-граммов	Первые тон-ны – до 20 т	Гравитация, комбинированные схемы	Возможно открытие объектов в десятки – сотни кг, Истощение ресурсов через 15–25 лет	кл. Мухтунный, кл. Красный, руч. Заячий, руч. Сосновый, руч. Южный, руч. Макарьевка и др. многочисленные объек-ты
Проловиаль-ных шлейфов	Первые тонны					Комбинированные схемы с гравитаци-ей	Перспективный тип	
Аллювиальные (Au, Pt)	Первые км – де-сятки км до сотен км	50–1000	1–3	0,5 т	1–10 т	Гравитационный с применением ра-циональных технологий для извлече-ния мелкого и тонкого золота	Возможно открытие и наращивание ресурсов в ближайшие 10 лет с последующим их ис-тощением	Чай-Урья, Кондер, Аллах-Юньская, Миасская, Тагиль-ская, Ларьковская, Омчакская

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	десятки км	50–300	1–5 до 10	0,5–1 т	Первые тонны – десятки тонн	Гравитационный. Перспективные технологии, находящиеся в разработках: скважинная гидродобыча, подземное выщелачивание	При появлении новых технологий возможны новые открытия и наращивание ресурсов	Бодайбинская, Бол.Догадлын, Мараканская, Хальмерью, Чаянгро и др.
Флювиальных вееров в зонах влияния тектонических уступов	Сотни метров – первые километры	Сотни	5–10 до 20–50	Сотни килограммов – первые тонны	Первые тонны – десятки тонн	Гравитационный с применением рациональных технологий для извлечения мелкого и тонкого золота	Высокие перспективы открытия	р. Катаич (Узбекистан); р. Херпучи (Приморье)
Конуса выноса ложков в зонах влияния тектонических уступов	0,2–1 километры	50–500	10–30	Десятки килограммов – первые сотни килограммов, 1–2 т	3–15 т	Гравитация, комбинированные схемы	Высокие перспективы открытия объектов в первые сотни кг, среди погребенных 1–20 т	кл. Мухтунный, кл. Кавынах (Бууртия), руч. Арнаимган (Монголия), р.Катаич и др.
Россыпи прибрежно-морских зон (современных и древних)			Первые	Сотни килограммов	Десятки тонн – сотни тонн	Гравитационная, гравитационно-флотационная, доизвлечение золота из хвостов гравитации	В ближайшие годы перспективы ограничены	Рывеем, Ном (США)
Россыпи депрессионных зон	Первые – десятки километры	100–500	15–100	1–3 т	10–80 т	Россыпи эксплуатируются с большими потерями, рациональные технологии отсутствуют. Возможны комбинированные технологии. В стадии эксперимента – подземное выщелачивание	Высокие перспективы при разработке рациональных технологий	Рос. Бол. Куранах, Валухтинская группа россыпей, Андреев-Юльевская группа россыпей, Шуралинско-Ягоднинская, Брединская группа россыпей, Чапинская, Воронцовская, Вишеро-Велсовская группа россыпей, Выйско-Исовская (Рт), Висимская (Рт, Au) и др.
Техногенные россыпи (отвалных комплексов) и отвалы ШОФ	Первые километры – десятки	20–100	Первые – десятки	0,5–1 т	Десятки тонн	Гравитация с доизвлечением золота и платиноидов гравитационных хвостов	Высокие перспективы на ближайшие 10–15 лет	Во всех россыпных золотодобывающих районах

Элювиальные и элювиально-склоновые россыпи. Традиционные элювиальные и элювиально-склоновые россыпи обычно имеют небольшие запасы и играют незначительную роль в минерально-сырьевой базе золота России. Доля их в накопленной добыче составляет первые проценты. Они формируются в геологических обстановках, типичных для источников питания с крупным и средним золотом (кварцевые жилы, кварцево-жильные поля, штокверки, зоны золотосульфидно-кварцевой минерализации). Золотосульфидная и золотосеребряная минерализации дают начало россыпям преимущественно с мелким золотом при условии преобладания свободного самородного золота в первичных рудах и благоприятных геоморфологических условиях концентрации мелкого и тонкого золота.

Элювиальные и элювиально-склоновые россыпи приурочены к выровненным поверхностям и пологим склонам на пенепах и слаборасчлененных низкогорьях. В резкорасчлененном рельефе — к фрагментам сохранившихся поверхностей выравнивания на водоразделах и локальным впадинам (обычно связанным с минерализованными зонами).

Основное россыпеобразование связано с процессами физического и химического выветривания, склоновыми процессами. Дезинтеграция материала не совершенна, сепарация в делювиальных процессах проявлена слабо, в солифлюкционных — практически отсутствует.

Вещественный состав рассматриваемых россыпей — щебнисто-глинистый, щебнисто-суглинисто-илистый, щебнистый, сортировка слабая, золото свободное и в сростках, последних до 50% и более, присутствует связанное золото. Масштабы, как правило, небольшие: запасы десятки и сотни килограмм золота гравитационных классов крупности при содержаниях от сотен мг/м^3 до десятков г/м^3 . При нетрадиционном понимании элювиально-склоновых россыпей, т.е. при учете золота, не улавливаемого гравитационными процессами, запасы могут составлять первые тонны и более. Методы поисков и оценки указанных россыпей наряду с традиционными дополняются необходимостью определения полного содержания золота с применением пробирного анализа.

Проллювиальные россыпи долин ложков и ручьев. Из этих россыпей было добыто порядка 10% россыпного золота России. Ложковые россыпи распространены во всех золотороссыпных районах. По количеству объектов ложковые россыпи — самые многочисленные и, как правило, наиболее простые для отработки.

Морфоструктурные и геоморфологические позиции разнообразны. Поиски их могут дать положительные результаты в любых структурно-геоморфологических обстановках в пределах металлогенических зон. Распространены они во всех типах горного рельефа: от высокогорного резко расчлененного (Тянь-Шань, Саяны, Байкальская горная страна, Верхоянье и др.) до холмисто-увалистого рельефа низких и высоких пенеменов Урала, Салаира, Сихотэ Алиня и др. Россыпи приурочены к ложкам с пе-

ресыхающими водотоками и ручьям с постоянным водным потокам (долины первых порядков).

Геологические обстановки коренных источников и сами коренные источники разнообразны. Важный поисковый признак — тесная связь с коренным источником питания. Верховья ложков начинаются от рудопроявления или месторождения, или простирание ложков совпадает с простиранием минерализованной зоны, что часто определяет высокие содержания золота в ложковых россыпях и преобладание крупного золота (при кварцево-жильном типе источника питания). Традиционные источники питания россыпей с крупным самородным золотом: кварцево-жильная и прожилково-вкрапленная золотосульфидная минерализация. За счет этих двух типов сформировано большинство пролювиальных россыпей. Известны ложковые россыпи, образованные за счет месторождений золотосульфидных (золото-барит-полиметаллических) типов месторождений (россыпи верхних отрезков ручьев, берущих начало в зоне окисления месторождения Дальнее, Полярный Урал), ложковые россыпи, начинающиеся на месторождении Рио-Тинто (Испания). Ложковые россыпи образуются и за счет месторождений золотосеребряного типа (ручей Ул, начинающийся с горы Многовершинной, Петропавловский Лог Белогорского района и др.). Промышленные россыпи образуются и за счет золотоносных конгломератов, например ложковые россыпи Тянь-Шаня, источник которых — неогеновые конгломераты в бортах долины-впадины р. Чаткал, россыпи ручьев, впадающие в р. Яхсу. Часто ложковые россыпи приурочены к флангам элювиально-склоновых россыпей, образуя с ними единую эволюционную систему, или непосредственно наблюдаются при размыве золотоносных кор выветривания (ЗКВ), например серия ложковых россыпей Урского рудного района Салаира.

Генезис таких россыпей связан с деятельностью русловых потоков долин первых порядков с резко изменяющейся динамикой флювиальных процессов из-за периодического пересыхания воды в ручьях. Процессы гидродинамической сепарации и сортировки материала несовершенны. Вещественный состав пластов представлен щебнисто-галечным материалом, преобладает плохо окатанная галька. При малых уклонах продольного профиля и широком развитии кор выветривания формируются высокоглинистые пласты (россыпи пенепленов). Известны россыпи с крупным золотом, а также с мелким и тонким, что отражает особенности коренного источника.

Морфология пластов подчиняется морфологии долин ложков. Отмечается разнообразие переходных литолого-фациальных типов: от делювиально-пролювиальных до пролювиально-аллювиальных. Делювиально-пролювиальные характеризуются наиболее слабой сортированностью, у пролювиально-аллювиальных увеличивается сортированность материала. Довольно четко проявляется дифференциация обломочного материала на русловую и пойменную фации.

Масштабы месторождений определяются параметрами самих ложков и ручьев: длина до 2–15 км, ширина десятки метров, при этом мощность пласта до нескольких метров. Среди тысячи ложковых россыпей преобладают небольшие от 50 до 500 кг, но

встречаются и единичные крупные: от 1 до 20 т. Например, из россыпного месторождения ручья Мал.Тунгуска (Ленский район) было добыто золота порядка 25 т. Наиболее широко развиты мелкозалегающие ложковые россыпи, но часто встречаются и погребенные или сочетание мелкозалегающих и погребенных россыпей (долина ручья Кавынах в Сев.Прибайкалье, ручей Сюразьрузь на Приполярном Урале и др.). Наибольшие концентрации золота в ложковых россыпях наблюдаются вблизи коренного источника. В крутопадающих ложках — в их целевой части.

Актуальность поисков ложковых россыпей подтверждается их преимущественным значением для ряда районов, где они составляли основу минерально-сырьевой базы золота. Например, Агние-Афанасьевский россыпной узел Востока России, Урский район Салаира и др.

Мелкозалегающие ложковые россыпи в горном рельефе легко определяются шлиховым методом поиска. Значительно труднее выделить золотоносные ложки в погребенной части пенеппенов или во впадинах. В данном случае сложно не только определить золотоносность ложков, но и их положение в рельефе, поэтому необходимо применять дешифрирование аэрофотоснимков, палеогеоморфологические реконструкции, геохимические и геофизические методы поисков. Наибольшие перспективы при поисковых работах связываются с погребенными пролювиальными россыпями.

При слиянии конусов выноса у подножия гор формируются **россыпи пролювиальных шлейфов**. Мощность подобных пролювиально-склоновых отложений достигает десятков метров, во впадинах — сотен метров. Золотоносность их изучена слабо. По имеющимся данным, золото концентрируется в невыдержанных по мощности и длине линзах. Эти россыпи могут быть пространственно оторванными от коренных источников питания, расположенных в верховьях ложков. В этом случае в пролювиальных шлейфах накапливается преимущественно мелкое золото.

Такие россыпи относятся к перспективному типу. Учитывая в россыпях мелкое и тонкое золото и большую мощность золотоносных отложений, можно предположить накопление здесь значительных запасов золота при низких его содержаниях.

Аллювиальные россыпи по преобладающему значению в добыче и запасах составляют основу минерально-сырьевой базы золотороссыпной промышленности России. Это наиболее многочисленная группа россыпей. В накопленной добыче их доля составляет более 80%.

Наиболее благоприятные морфоструктуры — слабо- и умеренно воздымающиеся блоки, в рельефе им отвечают средне- и низкогорные страны. К низкогорным приурочено подавляющее большинство всех известных россыпей, так как здесь формируются наиболее оптимальные уклоны продольных профилей рек и благоприятная для россыпеобразования динамика русловых процессов. Очень хорошо проявлены сепарационные процессы, что способствует хорошей сортированности обломочного материала, четкой дифференциации литолого-фациального состава аллювиальных отложений на пойменную и русловую фации.

В морфоструктурах, режим развития которых близок к стабильному (в рельефе им соответствуют поверхности выравнивания), условиям россыпеобразования также благоприятны тесная пространственная и генетическая связь с золотоносными корами выветривания и стабильно длительные процессы россыпеобразования: (от юры до голоцена включительно). В интенсивно воздымающихся морфоструктурах из-за высоких значений уклонов продольного профиля условия для россыпеобразования в целом менее благоприятны, поэтому в высокогорных областях россыпи малочисленны.

Источники питания аллювиальных россыпей разнообразны: большинство золотых и золотосодержащих формационных типов руд являются их источниками, главными считаются золотокварцевый и золотосульфидно-кварцевый типы, хотя в благоприятных геоморфологических условиях россыпеобразующими являются золотосульфидный и золотосеребряный типы. В питании протяженных аллювиальных россыпей участвуют несколько разнотипных и разновозрастных коренных источников. Так часто в питании россыпей принимают участие промежуточные источники, представленные терригенными толщами с рассеянной золотоносностью, древние россыпи. Россыпи с запасами десятки и сотни тонн расположены в долинах рек, пересекающих несколько рудных полей или ориентированных по простиранию рудной зоны.

Вещественный состав аллювиальных россыпей представлен речными (аллювиальными) отложениями: галечными, песчано-гравийно-галечными, валунно-галечными, глинисто-галечными. Характерная особенность аллювиальных россыпей — высокая степень сортированности обломочного материала по гидравлической крупности и четкая дифференцированность осадков по литолого-фациальному составу. Аллювиальные россыпи обычно образуют лентовидные залежи или гнезда обогащения, в которых равномерность распространения золота зависит от особенностей питания и динамики русловых процессов.

Основная масса золота переносится речными потоками на расстояние от нескольких сотен метров до 3 км от коренного источника; тонкопластинчатое, мелкое и тонкое золото — до десятков километров и более.

Морфологические типы аллювиальных россыпей определяют по их приуроченности к формам рельефа долины: *русовые*, *долинные* (пойменные), *террасовые* россыпи.

По условиям залегания выделяются мелкозалегающие россыпи и погребенные россыпи. Мелкозалегающие приурочены к позднечетвертичным долинам, хотя известны и более древние палеогеновые и неогеновые (см. таблицу). Среди них выделяют долинные и террасовые россыпи (рис. 1). При поисковых работах они достаточно легко выявляются шлиховым методом. Широко распространены во многих районах РФ (Чай-Урья (8 км), Берелехская (24 км) в Верхне-Колымском районе, Миасская (юг Урала) — 125 км и др.

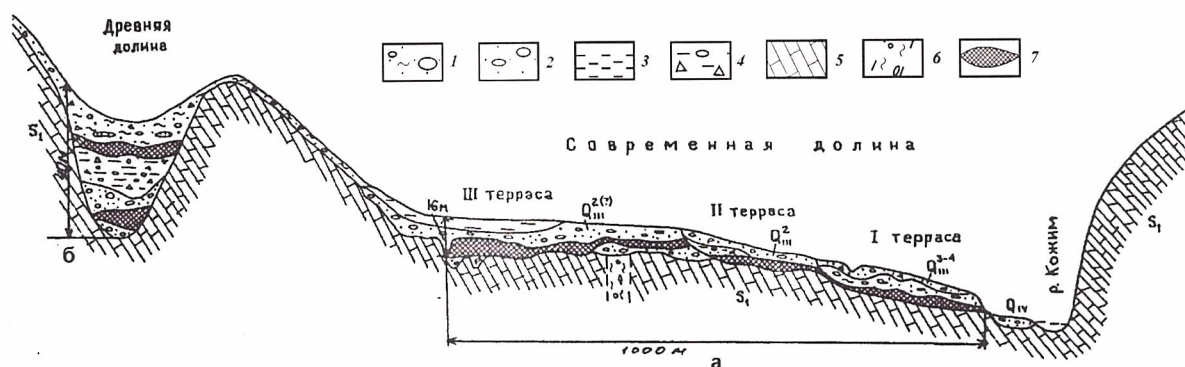


Рис. 1. Поперечный геологический разрез: мелкозалегающих террасовых россыпей (А) современной долины и погребенных россыпей древней долины (Б):

аллювиальные галечники в заполнителе: 1 — глинистом, 2 — песчаном; 3 — озерные, озерно-аллювиальные глинистые отложения; 4 — делювиальные, делювиально-пролювиальные щебнисто-глинистые отложения; 5 — известняки силурские, корродированные карстовыми процессами; 6 — дайки основного состава; 7 — золотоносные пласты

Из мелкозалегающих россыпей долин и террас было добыто основное количество россыпного золота (60% накопленной добычи), их запасы до сих пор являются основными в минерально-сырьевой базе россыпного золота, но они интенсивно отработаны и больших перспектив открытия подобных россыпей не ожидается.

К погребенным россыпям относятся месторождения, глубина залегания золотоносных пластов которых определяется 25 м и более. С появлением мощной высокопроизводительной землеройной техники открытым способом отрабатываются россыпи с глубиной залегания 25–40 м. В Ленском районе была построена драга (вместимость черпаков 600 л и глубина черпания 50 м) с целью отработки Мараканской россыпи с максимальной глубины залегания двух ее пластов в эрозионно-карстовой депрессии. Погребенные аллювиальные россыпи формируются в морфоструктурах с пульсационными колебательными движениями земной коры, с общей тенденцией к поднятию.

Глубокозалегающие аллювиальные россыпи известны в долинах-грабенах рек горных стран, а также в пределах межгорных и приморских впадин, испытавших на неотектоническом этапе многократные прерывистые дифференцированные движения переменного знака.

Широко распространены погребенные россыпи древних долин, перекрытые осадками последующих циклов аккумуляции: аллювиальными, озерными, ледниковыми, флювиогляциальными, морскими, склоновыми, пролювиальными. Встречаются россыпи погребенные под базальтами (юг Витимского плоскогорья, Дальний Восток, Калифорния, Австралия, штат Виктория).

Крупнейшие погребенные россыпи были отработаны в Ленском районе: долины рек Бодайбо, Маракан, Угахан, Ныгри, Вача и др. Запасы их составляли десятки и сотни тонн с содержанием Au 5–10 г/м³.

Накопленная добыча погребенных аллювиальных россыпей составляет 10–12% от общей накопленной добычи россыпного золота.

Погребенные россыпи отличаются сложностью горно-геологических условий и строения и часто расположены в комплексе с современными мелкозалегающими россыпями. Поиски погребенных россыпей затруднены и должны проводиться с применением геолого-геоморфологического картирования, дополненного палеогеоморфологическими реконструкциями и картированием цоколей террас.

В настоящее время добыча золота из погребенных россыпей имеет существенное значение только на Чукотке. В ряде районов погребенные россыпи переведены в разряд резервных из-за нерентабельности шахтных отработок в современных экономических условиях.

Потенциал погребенных россыпей далеко не исчерпан. Например, в Иркутской области готовится к эксплуатации погребенных россыпь р.Чаянгро, основные запасы которой не отработаны и составляют порядка 15 т. Погребенные аллювиальные россыпи имеют значительные перспективы, причем возможно открытие крупных месторождений.

Россыпи флювиальных вееров и конусов выноса ложков в зонах влияния тектонических уступов. Морфоструктурная и геоморфологическая позиция таких россыпей определяется приуроченностью их к зонам влияния тектонических уступов, являющихся границей морфоструктур с различными знаками движений: горные хребты и впадины. Наиболее благоприятное структурно-геоморфологическое положение для формирования россыпей подобного типа — приразломные участки впадин.

Коренные источники могут быть локализованы как в пределах горной части долины, так и в пределах зоны разлома.

Россыпи в плане имеет форму веера, в разрезе — изометричную (рис. 2). Распределение концентраций золота и классов его крупности неравномерное как в плане, так и по простираанию россыпи. Наиболее крупное золото аккумулируется вблизи тектонического уступа в головной части флювиальных вееров. Наиболее мелкие и тонкие фракции золота накапливаются в их дистальных частях. Литолого-фациальная дифференциация осадков также оказывает влияние и на дифференцированное распределение золота по классам крупности: крупное золото локализуется преимущественно в потоковой фации, мелкое и тонкое — веерной, тонкое — застойной. Характерная особенность россыпей флювиальных вееров — большое количество или преобладание мелкого и тонкого золота.

Пласты представлены либо вытянутыми линзами, либо ступенчато погружающимися по серии субгоризонтальных разломов (наклонных в сторону впадины) залежами (рис. 3), образующими сложные замещения с другими осадками впадины. Мощность залежей 30–100 м. Она убывает к внутренней предгорной стороне россыпи до первых метров. Основная часть россыпи погребенная. Золотоносные пласты залегают на глубине десятков и даже сотен метров, глубина их погребения увеличивается к центру впадины, осадки которой служат ложным плотиком россыпи.

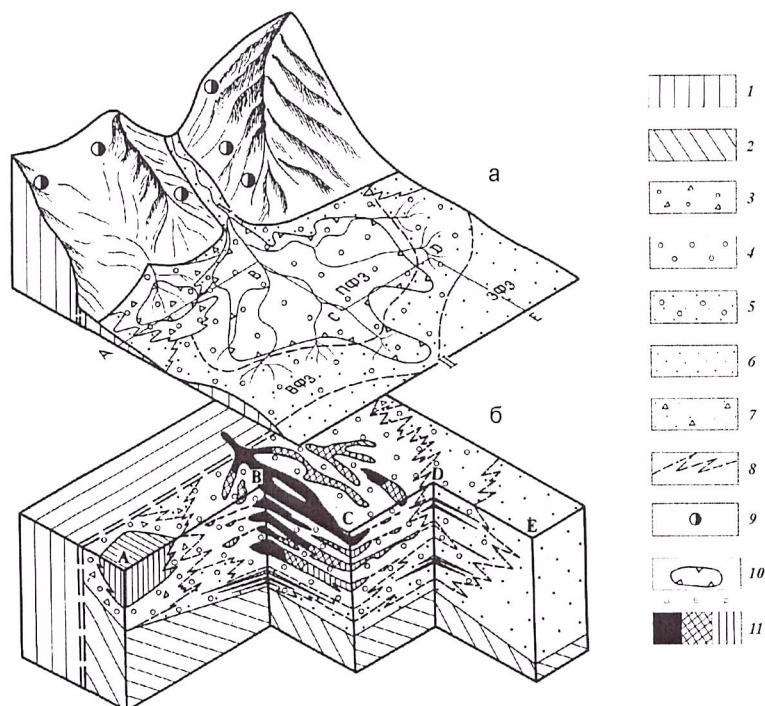


Рис. 2. Россыпь флювиального веера в неогеновых конгломератах Дарвазской впадины. По данным Кошелева Б.П., Мещериной Т.В.:

а — план; б — разрез по линии А–Б–С–Д–Е; отложения: 1 — области поднятий, 2 — основания депрессионных структур, 3 — флювиальных вееров мелких водотоков, 4 — потоковой фациальной зоны (ПФЗ) флювиальных вееров средних–крупных водотоков, 5 — веерной фациальной зоны (ВФЗ) флювиальных вееров средних–крупных водотоков, 6 — застойно-водной фациальной зоны (ЗФЗ) флювиальных вееров средних–крупных водотоков, 7 — межконусных понижений; 8 — границы фациальных зон; 9 — коренные источники золота; 10 — контуры промышленных россыпей; 11 — продуктивные горизонты россыпи с: а — высокими; б — средними; в — низкими содержаниями золота

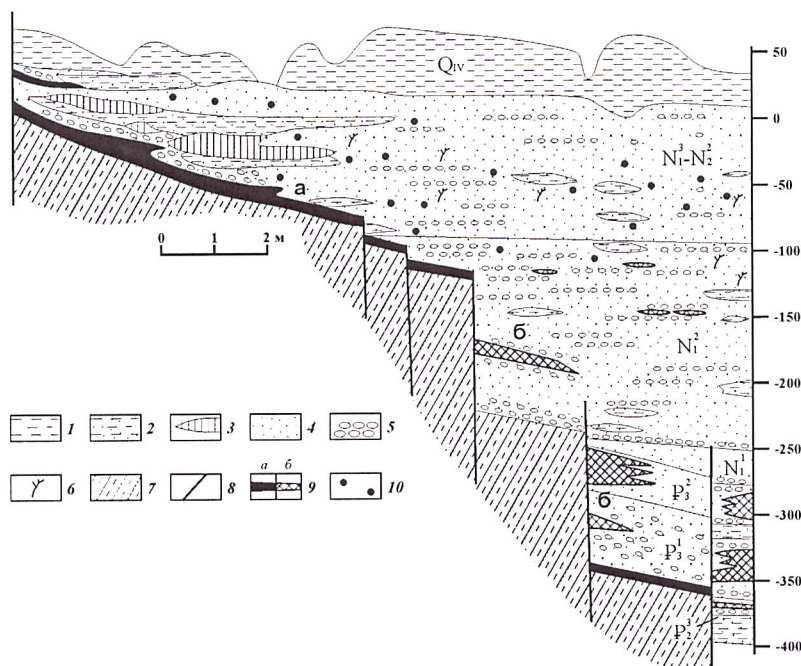


Рис. 3 Поперечный геологический разрез Куларской россыпи в зоне влияния ступенчатых тектонических уступов. По данным Куларской геологоразведочной партии и Б.В. Рыжова, 1978:

погребенная долинная россыпь (а), переходящая в россыпь флювиального веера (б); 1 — покровные льдистые суглинки едомной серии; 2 — суглинки, супеси, опесчаненные глины; 3 — бурые угли, лигниты; 4 — пески; 5 — галечники; 6 — прослои растительного детрита; 7 — породы складчатого основания (верхоянский комплекс); 8 — разломы; 9 — россыпи золота: а — богатые, б — бедные; 10 — рассеянное золото

Россыпи флювиальных вееров формировались от палеогена до четвертичного периода включительно. Разновозрастные горизонты находятся в различных взаимоотношениях, наблюдаются замещения одних горизонтов другими по латерали или вложения молодых пластов в более древние с существенным перемывом. Особо благоприятные условия для формирования россыпей дельт могут сложиться на границе континент — море.

Россыпи флювиальных вееров и конусов выноса в зонах тектонических уступов хорошо известны в мировой практике. Крупнейшими среди них были россыпи Большой Долины Сакраменто в Калифорнии, где при выходе горных рек во впадину образовались сложно построенные золотоносные дельты нескольких возрастных генераций. Они «встроены» в неоген-четвертичные осадки, выполняющие впадину. Пласты имели мощность десятки метров, содержали преимущественно мелкое золото, при относительно невысоких средних содержаниях ($170\text{--}500\text{ мг/м}^3$), из нескольких подобных «встроенных» дельт драгами было добыто более 300 т золота, запасы оценивались до глубины 53 м.

В России подобные россыпи известны в Республике Бурятия. Они оказались характерными для россыпных районов Байкальской рифтовой зоны, где на границе воздымающихся и относительно опускающихся блоков были выявлены в конусах выноса ручьев золотоносные пласты мощностью более 14 м (ручей Кавынах при впадении в долину — грабен ручей Нюрундукан). Пласт формировался на протяжении длительного отрезка геологического времени от плиоцена до голоцена (Н.М.Риндзюнская, 1978).

Многоярусные россыпи флювиальных вееров были детально изучены в узких межгорных впадинах Верхнего Приамурья (Н.Г.Патык-Кара и др., 1997; И.В.Спорыхина и др., 1966), в Куларской впадине (Б.В.Рыжов и др., 1978). Из долинной россыпи и россыпи флювиального веера р.Кулар (Якутия) было добыто 300 т золота. Золотоносными были аллювиальные фации, в т.ч. формировавшиеся по принципу флювиальных вееров и конусов выноса. Источниками послужили золотокварцевые жилы. Пласт россыпи залегал под осадками впадины на глубине более 150 м и на 240 м относительно уровня моря (см.рис. 3).

Россыпи флювиальных вееров и конусов выноса в зонах тектонических уступов золотоносных районов Приамурья и Кулара можно рассматривать как мало изученный тип крупных россыпей.

При условии применения новой техники и технологии поисков, разведки, опробования глубокозалегающих горизонтов впадин, могут быть открыты новые крупные месторождения (при впадении горных золотоносных долин в Амурские, Приамурские, Североприморские и другие впадины), которые способны резко изменить потенциал сырьевой базы россыпного золота России в сторону его увеличения.

Конуса выноса ложков — формируются как продолжение ложковых россыпей за счет одного источника питания, мощность пласта метры–десятки метров, характерно повышение глинистости и увеличение доли мелкого и тонкого золота за счет особенностей формирования россыпи в области разгрузки водного потока.

Запасы составляют сотни килограммов, реже встречаются крупные объекты с запасами 10–15 т и более. При богатых источниках в зоне тектонического уступа, образуется богатая россыпь, формирование которой могло происходить на протяжении нескольких эпох россыпеобразования.

Например, россыпь конуса выноса ручья Арнаимган (бассейн р.Туул Монголии) была выявлена по рекомендации ЦНИГРИ, разведочное бурение на объекте начинали три раза. Запасы россыпи порядка 15 т. Представлена она тремя пластами, нижний из которых залегает на глубине 30 м. Россыпь ручья Кавынах (Байкальский рифт в пределах Бурятии) имеет один мощный пласт 10 м и более.

Погребенные россыпи конусов выноса — перспективные объекты, но степень их изученности и освоения низкая.

Россыпи депрессионных зон и впадин. Морфоструктурные и геоморфологические обстановки определяются приуроченностью к депрессиям разных типов.

Россыпи эрозионно-структурных (эрозионно-структурно-карстовых) депрессий впервые выделены на Урале Я.Э.Эдельштейном, А.П.Сиговым, В.С.Шубом, В.М.Хрыповым.

Они наиболее характерны для морфоструктур с тектоническим режимом, близким к стабильному. Россыпи в пределах эрозионно-структурных депрессий формировались в условиях пульсирующих тектонических движений с малыми амплитудами (плюс 100–200 м, минус 100–200м), что привело к формированию многопластовых россыпей. Обычно они приурочены к долинам, наследующим протяженные грабен-синклинали, ограниченные разломами глубинного заложения, имеющими рудоконтролирующее значение. Геоморфологическое положение определяется приуроченностью к низким и высоким пенепленам, низкогорным областям. Наибольший возрастной диапазон россыпей (J, K₂, P, N₁₋₂, Q) сохранился в эрозионно-структурных депрессиях низких пенепленов.

Россыпи эрозионно-структурных депрессий пенепленов формировались за счет продуктов перемыва золотоносных кор выветривания, с которыми они связаны пространственно и генетически. В зонах развития карбонатных пород депрессии осложняются карстом. Источники золота расположены в бортах и днище депрессий и представлены месторождениями золотосульфидно-кварцевого, золотосульфидного и золотокварцевого типов, а также протяженными минерализованными зонами и их зонами окисления.

Россыпи эрозионно-структурных депрессий - полигенные и полихронные, состоят из нескольких разновозрастных пластов аллювиального, пролювиального, склонового генезиса. Широко распространены карстовые россыпи со своеобразными «косыми» и «мульдообразными» пластами. С карстовыми процессами связаны и инфлювиальные россыпи карстовых каналов, являющихся составной частью россыпей эрозионно-структурных депрессий.

Характерные особенности — частые изменения литолого-фациального состава и в целом высокая глинистость золотоносных пластов, присутствие горизонтов ожелезнения (гипергенные скопления охр и конкреций гидроксидов железа и марганца). Золото крупное и мелкое.

Высокая глинистость и высокие содержания мелкого и тонкого золота обусловили трудную обогатимость этих россыпей. Мощности отложений, выполняющих эрозионно-структурные депрессии 15–100 м, мощности пластов в среднем 5–10 м, но могут достигать 30–50 м. Отдельные участки уже отработанных россыпей депрессий отличались высокими содержаниями Au 10–50 г/м³, при запасах 1–5 т и более. Однако протяженные участки россыпей с низкими содержаниями Au 150–250 мг/м³ (до 500 мг/м³) и прогнозными ресурсами первые тонны-десятки тонн — остались не затронутыми эксплуатацией из-за трудной обогатимости.

Россыпи эрозионно-структурных (эрозионно-структурно-карстовых) депрессий — перспективный тип россыпей, требующий разработки усовершенствованных технологий разведки, особенно опробования, и эксплуатации, с целью извлечения мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота, содержания которых в этих россыпях достигает 40–90%. Также необходимы новая техника и технологии для отработки карстовых россыпей с богатыми целиками, не затронутыми отработками из-за сложных горно-геологических условий.

Поисковые методы для выявления россыпей эрозионно-структурных депрессий, основанные на комплексе геологических, палеогеоморфологических, геодезических исследований разработаны и дают хорошие результаты.

Россыпи депрессионных зон связанные, с долинами-грабенами в морфоструктурах с пульсационными тектоническими движениями и с преобладающей тенденцией к опусканию также могут быть осложнены карстовыми провалами. Так россыпь р.Куранах (Алдан) размещается в грабен-долине, приуроченной к пенеплену (по И.И.Дику, 1970). Основной источник питания — богатое Куранахское месторождение (зона окисления месторождения золото-адуляр-кварцевого типа) продуцирующее мелкое и тонкое золото (–0,25 мм, –0,1 мм и мельче).

Россыпь связана с мощными толщами высокоглинистых слабосортированных плиоцен-четвертичных осадков (до 50–80м), золотоносна практически вся толща рыхлых

отложений. Преобладает мелкое и тонкое золото с содержаниями около 500 мг/м³. Запасы золота уникальны.

При условии извлечения мелкого и тонкого золота этот тип россыпей имеет большие перспективы, особенно в областях, где широко развиты источники питания золото-сульфидного, золотосеребряного типов минерализации, золотоносные коры выветривания, долины-грабены, выполненные высокоглинистыми слабосортированными осадками, карстовые депрессии.

Комплекс **россыпей континентальных и периконтинентальных впадин** связан с морфоструктурной обстановкой возникающей при резкой дифференциации тектонических движений с преобладающей тенденцией к опусканию. Это сложный комплекс россыпей: погребенных аллювиальных, флювиальных вееров, на перемычках — мелкозалегающих аллювиальных и ложковых. Источники расположены в бортах впадин и представлены различными формационными типами коренных проявлений и слабозолотоносными толщами впадин. Выявлены отдельные наиболее богатые пласты, а в целом россыпи впадин изучены слабо и перспективы их значительные для воспроизводства минерально-сырьевой базы на ближайшую и среднесрочную перспективу.

Россыпи прибрежно-морских зон состоят из сложного комплекса россыпей: аллювиальных, пляжевых, бенчевых и древних шельфовых зон приуроченных к зоне сочленения континента и моря. Золотоносность прибрежно-морских зон напрямую определяется коренной золотоносностью континентальных структур.

По условиям формирования выделяются две группы: россыпи древних прибрежно-морских зон на континенте и россыпи современного шельфа.

Россыпи древних прибрежно-морских зон на континенте. На территории России это уникальный по богатству Рывеемский район (Чукотка), который содержит комплекс полигенетических россыпей — элювиальные, ложковые, аллювиальные, бенчевые, морские, приуроченных к разновозрастным (от олигоцена до плейстоцена) базальным отложениям Валькарайской периконтинентальной впадины. Из известных полутора десятков россыпей две обладают наибольшими размерами и богатством — аллювиальная (основная), залегающая в днище палеодолины р.Рывеем, и прибрежная — бенчевая, пляжевая и неясного генезиса в толщах морских осадков. Отрабатывались россыпи, залегающие на глубинах 20–30 м, выявлены месторождения, прослеженные под толщей морской воды. Коренные источники представлены проявлениями и месторождениями золото кварцевого типа.

Богатые и промышленно значимые в мировой добыче — пляжевые россыпи Нома на Аляске (рис. 4). По разным источникам здесь добыто Au от 100 до 400 т. Длина россыпей сотни метров — первые километры, ширина — десятки метров и мощность дециметры — первые метры. Продуктивный пласт представлен галечниками, гравием, пес-

ками. Золото обнаружено по всей мощности пляжевых отложений со средним содержанием $0,5\text{--}2,0 \text{ г/м}^3$ с концентрацией в их основании и отдельных пластах до $200\text{--}500 \text{ г/м}^3$. Золото преимущественно мелкое и тонкое.

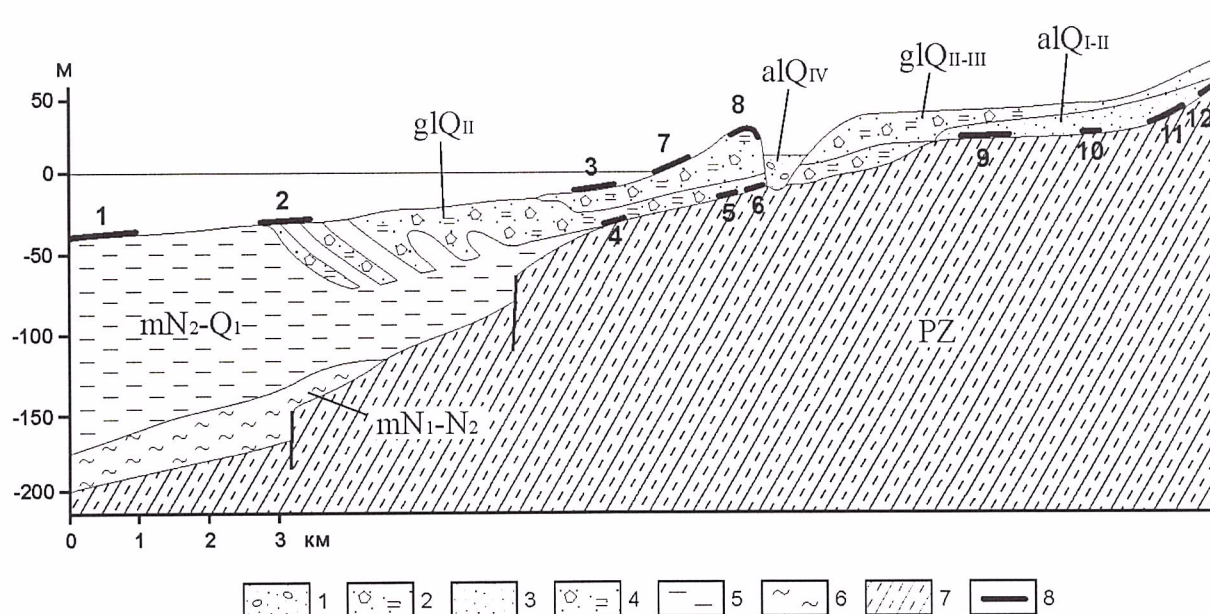


Рис. 4. Прибрежно-морские россыпи Нома. *Использованы данные W.J. Noklebery, T.K. Bundren, H.C. Bery, 1975:*

Осадки четвертичного возраста: 1 — голоценовые аллювиальные отложения, 2 — ледниковые отложения, 3 — аллювиальные отложения террас, 4 — древние ледниковые отложения, 5 — морские илы и глины, 6 — слоистые осадочные породы, 7 — палеозойские сланцы, 8 — россыпи побережий; россыпи: 1 — 80 футов, 2 — 65–72 фута, 3 — 35–42 фута, 4 — плиоценовое, 5 — внешнее подводное, 6 — внутреннее подводное, 7 — современное, 8 — второе, 9 — промежуточное, 10 — Монровиль, 11 — третье, 12 — четвертое

Россыпи современного шельфа. Среди них выделяются аккумулятивные пляжевые и остаточные бенчевые россыпи. Аккумулятивные россыпи образуются в результате накопления золотоносного материала, поступившего с континента. Они протягиваются вдоль берега на сотни метров — первые километры при ширине до первых сотен метров. Мощность пласта от 1 до 6 м. Россыпи характеризуются полосовым (параллельно берегу) размещением повышенных концентраций золота, низкими (обычно ниже $0,5\text{--}1 \text{ г/м}^3$) средними содержаниями, неравномерным распределением его по вертикали. Золото тонкое, весьма мелкое, чешуйчатое, пластинчатое. Остаточные (в т.ч. бенчевые) россыпи образуются в результате концентрации относительно крупного (чаще свыше 1 мм) золота вследствие выноса частиц пустой породы и тонкого золота из золотоносного материала. Эти россыпи отличаются крайней неравномерностью распределения золота в плане и малой ($0,1\text{--}0,6 \text{ м}$) мощностью продуктивного пласта. Содержания достигают $\text{Au } 20\text{--}30 \text{ г/м}^3$.

На территории России к этому подтипу может быть отнесена Тинканская россыпь (Южно-Приморский район, Приморский край). Ее протяженность свыше 1 км при средней ширине 0,7 км и мощности пласта от 1 до 3,5 м. Отработаны пляжевая россыпь, залегавшая выше уровня моря, и частично подводная россыпь. Общая добыча составила от 1 до 2 т при относительно высоком содержании. Россыпи сформировались за счет перемыва металла, вынесенного ручьем Большой Тинкан, размывающим Хуалазинское золоторудное месторождение. Близким строением характеризуются пляжевые россыпи Ульяновского участка побережья Охотского моря (Хабаровский край). Перспективы выявления таких россыпей имеются в России прежде всего в прибрежной части Чукотского моря.

Техногенные россыпи возникают в результате неполноты отработки и извлечения золота, состоят из целиков и отвального комплекса. Техногенные россыпи наряду с мелкозалегающими составляют в настоящий момент основу минерально-сырьевой базы. Представлены они легкопромывистыми образованиями с мелким и частично крупным золотом. По запасам от первых десятков килограммов до десятков тонн с учетом извлечения МТЗ. Поскольку отвальные комплексы расположены главным образом в пределах горных отводов золотодобывающих предприятий, для их вовлечения в оборот не требуется больших инвестиций, так как уже имеется производственная инфраструктура.

В настоящее время основу золотодобычи из россыпей составляют аллювиальные мелкозалегающие долинные и террасовые россыпи, россыпи флювиальных вееров (дельтовые); пролювиальные россыпи ложков и конусов выноса и техногенные.

Такие россыпи в ближайшие 10–15 лет будут иметь основное значение в воспроизводстве минерально-сырьевой базы россыпного золота. При этом мелкозалегающие долинные и террасовые россыпи на протяжении всей истории были ведущими в добыче россыпного золота в Российской Федерации и продолжают занимать важные позиции в запасах и прогнозируемых ресурсах россыпных месторождений. Однако через 10–15 лет ресурсы этих россыпей могут быть практически исчерпаны. Поэтому оценка и подготовка к освоению россыпей сложных типов (погребенных аллювиальных россыпей эрозионно-структурных депрессий, межгорных и периконтинентальных впадин, россыпей зон влияния тектонических уступов, прибрежно-шельфовой зоны, россыпей мелкого и тонкого золота) приобретает первоочередное значение для воспроизводства минерально-сырьевой базы на среднесрочную и долгосрочную перспективу и поддержания добычи из россыпей на прежнем уровне, что потребует совершенствования методов и технологий поисков, разведки и эксплуатации, а, следовательно, и более четкого представления об их структуре и условиях залегания.

ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Ю.К.Голубев, В.И.Ваганов, Н.А.Прусакова (ЦНИГРИ)

Общие принципы стадийной технологии ведения геологоразведочных работ на алмазы разработаны для Восточно-Европейской платформы на основе новых комплексных прогнозно-поисковых моделей различных минерагенических таксонов (субпровинция – зона – поле – куст).

Разработка принципов и методики прогнозирования месторождений алмазов и научно обоснованных эффективных комплексов прогнозно-поисковых критериев с составлением разномасштабных карт прогноза на основные алмазоносные районы и прежде всего на новые алмазоперспективные — является остроактуальной научная и практическая проблема, лидером в разработке которой на протяжении последних 20 лет является ЦНИГРИ. Именно здесь были разработаны как теоретические основы стадийного прогнозирования месторождений твердых полезных ископаемых и соответствующие прогнозно-поисковые комплексы [2, 4, 6, 7, 10], так и методика их реализации применительно к конкретным видам сырья, в т.ч. алмазам [3, 5]. Работы по данной проблеме проводились специалистами и многих других научно-исследовательских и производственных организаций [1, 8, 9, 12 и др].

В результате достаточно четко наметились два главных методологических подхода к региональному–среднемасштабному прогнозу коренных месторождений алмазов. При одном подходе (он может быть назван концептуальным) в основу прогноза кладется та или иная генетическая концепция: правило Клиффорда, связь кимберлитового магматизма с зонами рифтов или авлакогенов, гипотеза горячей точки и др. Так, большинство зарубежных специалистов исходит из концептуального подхода, краеугольным камнем которого является положение о древнем архейском возрасте алмазов и отсутствии каких-либо генетических связей между ними и содержащими их породами (кимберлиты и лампроиты). С этой точки зрения алмазсодержащие кимберлиты и лампроиты — это не коренные месторождения алмазов в строгом смысле слова и они представляют собой лишь транспортирующую среду, выносящую фрагменты дезинтегрированных первично алмазоносных пород верхней мантии на поверхность. Соответственно процесс прогнозирования распадается на три последовательных основных этапа:

1. Выделение регионов, в пределах которых в архее было возможно образование первично-алмазоносных пород.

Исходя из геотермобарометрических построений, предполагается, что под архейскими кратонами существовала линза пород с аномальными свойствами, которая ограничена сверху границей графит–алмаз, а снизу — границей литосфера — астеносфера. Такие линзы, окруженные по латерали более горячими породами астеносферы, назы-

ваются алмазоносные мантийные корни (рис. 1). Наличие этих корней определяется по двум критериям — минералогическому и геофизическому.

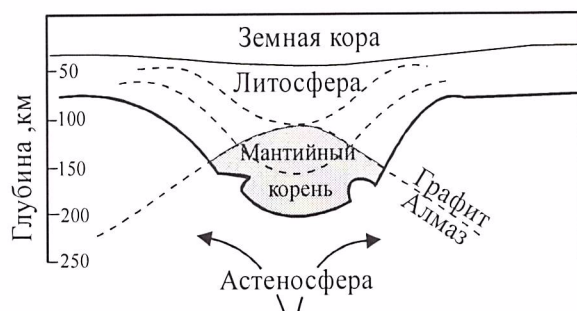


Рис. 1. Модель алмазоносного мантийного корня, по [3]

Минералогический критерий — алмазоносные кимберлиты практически всегда содержат ксенокristы граната и хромшпинелида «алмазной ассоциации», являющиеся индикаторами того, что вмещающие их кимберлиты проникали сквозь алмазоносные мантийные корни.

Геофизический критерий — по данным сейсмической томографии устанавливается, что плиты в пределах древних континентов имеют повышенную мощность и подстилаются слоями аномальной мантии. В настоящее время разрешающая способность метода сейсмической томографии по горизонтали составляет около 400–500 км.

2. Выделение тех первично-алмазоносных площадей, в контурах которых алмазы могли сохраниться в ходе последующей тектономагматической эволюции.

По мнению ряда исследователей, мантийные корни «выдерживают» воздействие внедряющихся роев мафических даек, но термально эродированы вблизи мантийных плюмов. Соответственно выделяются структуры — «дружественные» мантийным корням (mantle-root-friendly) — горизонтально внедряющиеся дайковые рои, надвиговые пояса и другие, и структуры — «враждебные» мантийным корням и вызывающие их разрушение (mantle root destructive) — мантийные плюмы, рифты, коллизионные зоны.

3. Выявление региональных тектонических и локальных структурных критериев размещения кимберлитов и лампроитов на выделенных ранее территориях.

Принимается, что достоверная связь кимберлитов и лампроитов с более локальными геологическими структурами отсутствует, поэтому этап среднемасштабного прогноза в настоящее время неосуществим. Данная концепция подкупает своей внешней логичностью и стройностью. Из нее следует, что собственно прогнозировать можно лишь крупные алмазоперспективные территории порядка 400–500 км в поперечнике, т.е. ранга субпровинции; далее прогноз «отказывает» и необходимо переходить к прямым поискам алмазоносных пород. Именно так строятся работы многих ведущих зарубежных горно-рудных компаний: сначала на основе прогнозных построений выделяются крупные алмазоперспективные территории, на которых без дальнейшей прогнозной детализации проводится площадное шлихо-минералогическое опробование с целью оконтуривания локальных площадей. Яркий пример такого рода методики — проведение компанией «Эштон Майнинг» поисков на лицензионной основе на территории Карелии.

Охарактеризованная технологическая схема — прямое следствие принятой за рубежом структуры геологоразведочных работ: региональные исследования проводятся государственными геологическими службами, а непосредственные поиски — частными компаниями. Обмен информацией между этими двумя уровнями, а также на втором уровне между различными компаниями осуществляется нерегулярно и фрагментарно, а среднemasштабные исследования масштабов 1: 200 000–1:100 000 практически выпадают. Рассматривая данную концепцию, необходимо подчеркнуть два принципиальных момента:

1. Давно известно, что радиологический возраст алмазов эклогитового парагенезиса существенно меньше такового для алмазов перидотитового парагенезиса и иногда совпадает с возрастом самих кимберлитов (для трубки Премьер возраст кимберлитов определен в 1200–1250 млн. лет, а включений в алмазах — 1150 ± 60 млн. лет). В последнее время в работе [13] приведены убедительные данные, что перидотитовые гранатовые включения и содержащие их алмазы из некоторых трубок Якутии кристаллизовались незадолго до извержения кимберлитовых магм. Авторы данной работы подчеркнули, что петрологические модели, основанные на допущении архейского возраста фанерозойских минералов и пород, могут быть серьезно ошибочными. По мнению Н.В.Соболева (2004, устное сообщение), как минимум 20 % перидотитовых алмазов имеют возраст очень близкий к возрасту вмещающих их кимберлитов. Таким образом, очевидно, что процессы природного алмазообразования не ограничивались археем, но проявлялись в течение всей геологической истории планеты.

2. Число исключений из правила Клиффорда достаточно велико. Более того, три месторождения — Венеция (ЮАР), Орапа (Ботсвана) и Аргайл (Австралия), расположенные в геоблоках не с архейским, а с нижнепротерозойским основанием, до недавнего времени обеспечивали до 50 % мировой добычи алмазов в физическом выражении.

Из сказанного очевидно, что правило Клиффорда, лежащее в основе данной концепции, имеет чисто вероятностный характер и означает лишь то, что вероятность обнаружения коренных месторождений алмазов в пределах архейских кратонов выше, чем в блоках с протерозойским возрастом кратонизации. Необходимо, однако, учитывать, что коренные месторождения алмазов — «штучный товар» (практически всю мировую добычу обеспечивают всего 16 месторождений), поэтому статистические критерии здесь малоприменимы. Обнаружение даже одного месторождения в «неправильной» (не подчиняющейся правилу Клиффорда) обстановке может серьезно повлиять на ситуацию в минерально-сырьевой базе алмазов мира в целом.

Другой подход («эмпирический») основан на методе аналогий, т.е. выделении в физических, геологических, шлихо-минералогических, геохимических и других реально наблюдаемых полях аномалий, соответствующих таковым разноранговых известных эталонных объектов и составляющих в комплексе прогнозно-поисковые модели этих объектов. Именно по такому методу производится поиск самих кимберлитовых трубок, но подход с равным успехом может быть распространен и на более крупные объекты (куст трубок, поле и т.д.). При этом возникают те же вопросы, что и в случае индивиду-

альных трубок: заверка и «разбраковка» аномалий, проблема ложных аномалий и другие, решаемые с использованием всего комплекса фактических данных. На стадии «разбраковки» привлекаются и различные геолого-генетические концепции.

Советские и российские геологи в течение нескольких десятилетий акцентировали внимание на изучении разномасштабных минерагенических алмазоносных таксонов, что явилось прямым следствием официально принятой стадийной системы ведения геологоразведочных работ в геологической отрасли в целом. При этом было установлено, что: 1) различные минерагенические алмазоносные таксоны реально существуют; 2) они характеризуются определенным устойчивым набором признаков, составляющих в совокупности соответствующие прогнозно-поисковые модели; 3) на основе этих моделей возможно последовательно выделять все более мелкие по размерам алмазоперспективные площади вплоть до локальных (первые десятки квадратных километров) участков под прямые поиски.

Естественно, что указанное разделение методических подходов достаточно условно и в «чистом виде» практически никогда не реализуется. Обычно используются элементы как одного, так и другого подходов, и вопрос заключается в том, какой из подходов основной, а какой вспомогательный. Так, в России сибирскими геологами разработана оригинальная концепция на основе концептуального подхода [9]; в ЦНИГРИ создана стадийная прогнозно-поисковая система с преобладанием элементов подхода «эмпирического» [3, 5].

Исследования ЦНИГРИ по данной проблеме в последнее время были сосредоточены на территории Восточно-Европейской платформы, прежде всего ее северной части, где известны многочисленные проявления кимберлитового и родственного ему магматизма и выявлены два коренных месторождения алмазов — им. Ломоносова и им. В.Гриба. Кроме того, данная площадь характеризуется максимальной степенью общегеологической и специализированной (на алмазы) изученностью. Результаты этих исследований изложены в данной публикации.

Как уже отмечалось, основа стадийной технологии — прогнозно-поисковые модели различных минерагенических алмазоносных (потенциально алмазоносных) таксонов: провинция — субпровинция — зона — поле — куст — месторождение.

Алмазоносная провинция — с нашей точки зрения, это эквивалент понятия «древняя платформа», поэтому предпочтительнее говорить, например, не о привычной Якутской алмазоносной провинции, а о Восточно-Сибирской провинции; соответственно выделяется Восточно-Европейская провинция. В настоящее время алмазоносные кимберлиты и (или) лампроиты установлены на всех древних платформах мира.

Алмазоносная субпровинция — крупный (площадь в десятки и первые сотни тысяч квадратных километров) геоблок древней платформы с близким возрастом кратонизации кристаллического фундамента, историей геологического развития, интенсивностью проявлений тектономагматической активизации и т.д. Она представлена одной — несколькими минерагеническими зонами. В конкретной субпровинции обычно домини-

рует определенный геолого-промышленный тип месторождений, как правило, близкого возраста [3].

Типичный пример субпровинции на севере Восточно-Европейской платформы — Кольско-Беломорский блок относительно стабильный на платформенном этапе развития литосферы, площадь его около 300 тыс. км², в пределах севера Балтийского щита и его юго-восточного склона [11]. Характеристиками блока являются: пониженная гипсометрия подошвы и кровли верхней мантии (150–200 км и более для подошвы и 37–42 км для кровли); нормальные (8,1–8,2 км/с) значения скоростей продольных волн в подкоровом горизонте верхней мантии; повышенная (более 2,5 км) с выходом на современный уровень эрозионного среза в пределах Балтийского щита гипсометрия поверхности кристаллического фундамента; область повышенных значений региональной составляющей поля силы тяжести, обусловленная гравитирующими объектами в земной коре. Этот блок литосферы включает части структур докембрийского кристаллического фундамента, сформированных разновозрастными гранулит-гнейсовыми комплексами. В пределах блока расположены Зимнебережное и Мельское кимберлитовые поля, Ижмозерское поле слабоалмазоносных мелилититов, все проявления кимберлитового, лампроитового и родственного им магматизма Кольского полуострова и южного берега Кандалакшского залива, Ненокское поле оливин-пироксеновых мелилититов, а также лампроиты Ветреного пояса, Турьинское, Полтинское и Пинежские поля толеитовых базальтов.

Приведенные характеристики — элементы прогнозно-поисковой модели Кольско-Беломорской кимберлитовой субпровинции и могут быть использованы в качестве критериев (косвенных признаков) прогнозирования этого минерагенического таксона. В сводном виде прогнозно-поисковая геолого-геофизическая модель кимберлитовой субпровинции приведена в табл. 1.

Алмазоносная минерагеническая зона — линейная высокопроницаемая структура древнего заложения, неоднократно активизирующаяся и контролирующая процессы коромантийного энергомассопереноса. Зоны характеризуются значительной (до 500 км и более) протяженностью при ширине около 50 км (нередко значительно больше), большой глубиной заложения ограничивающих и внутрискруктурных разломов. Необычайная живучесть, многократная смена термодинамического и тектонического режимов растяжения на сжатие и наоборот, насыщенность разновозрастными дайкообразными, штокообразными телами и диатремами основного, ультраосновного и щелочноультраосновного состава, многостадийное проявление динамометаморфизма — вот основные диагностические признаки зон. Основанием для отнесения зон к категории алмазоносных (потенциально алмазоносных) являются: положение в пределах алмазоносной субпровинции; наличие пород щелочноультраосновного состава, прежде всего самих кимберлитов и (или) лампроитов и их алмазоносных разновидностей; наличие линейно сгруппированных ореолов минералов-индикаторов, включая минералы алмазной ассоциации и самих алмазов.

1. Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Кольско-Беломорской кимберлитовой субпровинции

Геолого-геофизические признаки и материалы, используемые при их выделении:					
Глубинные уровни литосферы	Геотермические исследования: данные моделирования геотермического поля литосферы (геотермическое моделирование) по профилям ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ, скважинам глубокого бурения, представленные в виде схем, разрезов				
	Сейсмические исследования (ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ, КМПВ): интерпретационные схемы, сейсмические разрезы	Гравиметрические исследования: карты поля силы тяжести в редукции Буге, составленные по результатам съемок масштабов 1:1 000 000-1:200 000	Магнитометрические исследования: карты аномального магнитного поля (ΔT), составленные по результатам съемок масштаба 1:200 000	Геологическая интерпретация и корреляция с тектоническими структурами	
ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ	Верхний гранито-гнейсовый слой	Положительные структуры в поверхности докембрийского кристаллического фундамента	Средние значения скоростей продольных волн (V_p) 6,55–6,60 км/с, поперечных волн (V_s) 3,83–3,85 км/с	Относительно плотные образования, проявляющие положительной низкочастотной аномалией. Гравитирующие объекты, обуславливающие отдельные (осложняющие) аномалии, расположенные в земной коре	Преимущественно нематитные образования, проявленные пониженным уровнем поля
ЛИТОСФЕРА	Верхняя гранулит-базитовый слой	Нормальные значения (8,1–8,2 км/с) скорости продольных преломленных волн вдоль раздела Мохоровичича; региональная депрессия (37,5–42,5 и более км) в рельефе кровли верхней мантии	Глубина залегания изотермы 1200°, маркирующей подошву литосферы, 150–200 км; пониженные значения глубинного теплового потока на границе Мохоровичича	Время литосферы, выделяемый в пределах Балтийского щита и его юго-восточного склона	Включает части структур докембрийского кристаллического фундамента с преобладающим гранулит-гнейсовым составом земной коры: Кольского позднеархейского геоблока в составе фрагментов Центрально-Кольского и Терского блоков, Беломорского позднеархейского подвижного пояса, Лапландско-Кольвицкого раннепротерозойского гранулитового (коллизонного) пояса

Отметим, что собственно зоны тектономагматической активизации зоны возбужденной мантии не перспективны в плане формирования в их пределах обстановок, благоприятных для проявления алмазоносного магматизма, однако именно они оказывают геодинамическое воздействие на примыкающие части потенциально алмазоносных областей стабильной литосферы, способствуя термофлюидизации (в понимании авторов работы [9]), алмазоносного материнского субстрата и некоторому растяжению литосферы.

В пределах Кольско-Беломорского геоблока типичный пример такой зоны — Кольско-Полтинская мантийно-коровая линейно-блоковая тектоническая зона северо-западного простирания [11]. Данная структура шириной порядка 125 км и протяженностью около 700 км прослеживается через Кольский полуостров на Зимний Берег до р. Полта и далее за пределы субпровинции до р. Вычегда. Ее наиболее контрастные признаки — линейная малоамплитудная (2–5 км при глубине залегания подошвы 37–42 км) депрессия в кровле верхней мантии северо-западного простирания, заполненная образованиями гранулит-базитового слоя земной коры с повышенными скоростными характеристиками (7,1–7,2 км/с на фоне 7 км/с и менее); полосовая зонально построенная (в крест ее простирания) среднечастотная аномалия поля силы тяжести того же простирания. С Кольско-Полтинской зоной пространственно ассоциируют Зимнебережное и Мельское кимберлитовые поля, Ижмозерское поле слабоалмазоносных мелилититов, проявления кимберлитового и родственного ему магматизма Терского Берега, Турьинское, Полтинское и Пинежское поля проявлений толеитовых базальтов.

Анализ пространственно-временных связей позволил сделать вывод, что геодинамическая обстановка развития Кольско-Полтинской зоны на этапах тектогенеза, предшествующих кимберлитовому магматизму Зимнего Берега, характеризуется устойчивым режимом преобладающего сжатия и поднятия. Исключение составляет лишь рифейский этап, когда литосфера этой зоны была подвергнута частичной деструкции, связанной с рифтогенными процессами в пределах Керецко-Лешуконской ветви Беломорского авлакогена.

Тесная пространственная связь Кольско-Полтинской зоны с раннепротерозойской коллизионной структурой и Керецко-Лешуконской ветвью обусловила ее латеральную (в крест простирания) зональность. В пределах зоны выделяются юго-западная часть (продольный блок) с относительно разуплотненной (вследствие проявления деструктивных процессов) земной корой и северо-восточная (также продольный блок относительно плотных образований) с земной корой, наименее подвергнутой переработке. С северо-восточным блоком коррелируется в плане бортовая часть Керецкого грабена (осложненная Падунским грабеном) Беломорского авлакогена, в пределах которой на рифейском этапе тектогенеза литосфера в меньшей степени подвергалась термальному воздействию. Здесь же выделяется Кольско-Кулойское ядро (палеоподнятия) протокры. Оно характеризуется сочетанием среднечастотных (с периодом 75 км) Зимнебережного максимума и минимума — типичных для пород, сохранивших свой первич-

ный состав и физические свойства, присущих раннеархейским образованиям первичной коры. По всей видимости, Кольско-Кулойское ядро протокры соответствует наиболее стабильному участку литосферы, в пределах которого могла быть обеспечена сохранность алмазоносного потенциала верхней мантии. Зимнебережное кимберлитовое поле приурочено к юго-восточному флангу Кольско-Кулойского ядра.

Приведенные характеристики Кольско-Полтинской кимберлитоконтролирующей зоны рассматриваются как элементы геолого-геофизической прогнозно-поисковой модели; в сводном виде эта модель отражена в табл. 2.

Кимберлитовое поле — естественная группировка пространственно-сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с развитием единой вериткальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости (флюидно-магматическая колонна) [3].

Единственный детально изученный эталон на севере Восточно-Европейской платформы — Зимнебережное кимберлитовое поле. В результате интерпретации геофизических данных установлено, что этому полю соответствует в плане локализованная область (размер 60×85 км) деформации общего структурного плана поля силы тяжести, выраженная снижением (на 25–30 мгл) его уровня, на фоне которого выделяются отдельные локальные максимумы небольшой интенсивности. В поле горизонтального градиента данная область проявлена потерей корреляции линейных аномалий, формирующих общий структурный план градиентного поля Зимнего Берега.

Составляющие элементы области деформации гравитационного поля выделены по сложной частотной фильтрацией по методике Саксова-Нигарда. На карте локальной составляющей поля силы тяжести, обусловленной влиянием неоднородностей нижних горизонтов земной коры, Зимнебережному кимберлитовому полю соответствует (в плане) положительная малоамплитудная (1,0–1,5 мгл) аномалия близизометричной формы размером в поперечнике около 40 км. Как показали расчеты, центр масс источника этой аномалии расположен на глубине порядка 25 км.

На картах локальных составляющих, обусловленных влиянием неоднородностей, расположенных в средних и верхних горизонтах земной коры, кимберлитовые трубки пространственно ассоциируют со своеобразной аномалией подковообразной формы. В центре ее наблюдается снижение локальных составляющих поля силы тяжести на 2–4 мгл, по периферии она обрамляется градиентами поля и повышенными значениями. На юго-западе эта аномалия «открыта» в сторону пониженных значений поля силы тяжести.

В магнитном поле над Зимнебережным кимберлитовым полем наблюдается нарушение линейного плана магнитных аномалий. Общий уровень магнитного поля повышается (на 1,5–2,5 мЭ) с образованием среднечастотной аномалии ΔT овальной формы размером в поперечнике около 75 км. Источник, вызвавший повышение уровня магнитного поля, по результатам расчетов находится на глубине 20–25 км, т.е. глубина залегания источника положительной магнитной аномалии соизмерима с глубиной залегания уже упомянутого гравитирующего объекта, обусловившего локальную аномалию Саксова-Нигарда и расположенного в нижних горизонтах земной коры.

2. Геолого-геофизическая прогнознo-поисковая модель Кольско-Полтинской кимберлитоконтролирующей зоны

[illegible]

Отличительная особенность сейсмического разреза, пространственно ассоциирующего с Зимнебережным кимберлитовым полем, — его расслоенность, связанная с присутствием в разрезе земной коры на различных глубинах (15 и 25 км) слоев с инверсией скоростей продольных и поперечных волн (волноводов). Существует несколько точек зрения на причины, вызывающие снижение в них скоростей упругих волн и прежде всего изменение состава пород (степени их основности); увеличение трещиноватости и пористости; вариации температурного режима; степень насыщения флюидами. В любом случае очевидно, что аномальный характер распределения сейсмических параметров разреза земной коры в области проявлений кимберлитового магматизма Зимнебережного поля не случаен и обусловлен, скорее всего, именно флюидно-магматическими процессами.

Проведено компьютерное моделирование глубинного строения Зимнебережного поля по гравитационному полю с использованием данных магнитометрических съемок и глубинных сейсмических зондирований. В результате установлено, что (при всей неоднозначности решения прямой задачи гравиразведки) аномальный гравитационный эффект обусловлен локальным увеличением мощности разуплотненных слоев или блоков. Область разуплотнения земной коры сочетается с расположенными как ниже (18–40 км), так и выше (2–8 км) блоками с относительно повышенными плотностными характеристиками. Таким образом, по результатам гравитационного моделирования масштаба 1:1 000 000 в разрезе земной коры Зимнего Берега установлена субвертикальная транскоровая интегрированная плотностная неоднородность, которая пространственно совпадает Зимнебережным полем.

Полученная плотностная модель поля увязывается с охарактеризованными особенностями сейсмических разрезов. Стратифицированная совокупность нижнекоровых плотностных неоднородностей практически полностью соответствует совокупности сейсмических неоднородностей, выделенных в нижних (18–40 км) горизонтах земной коры. Магнитовозмущающий объект, обуславливающий региональный максимум магнитного поля, также приурочен к этому интервалу глубин. Все это позволяет говорить, что в нижних горизонтах земной коры под Зимнебережным полем локализована физико-геологическая неоднородность с довольно контрастными (по отношению к вмещающей среде) геофизическими параметрами, которые во многом аналогичны параметрам, присущим расслоенным интрузивам мафит-ультрамафитового состава.

Таким образом, выявленная в разрезе земной коры в Зимнебережном кимберлитовом поле интегрированная совокупность физико-геологических неоднородностей (рис. 2) может быть интерпретирована как субвертикальная область преобразования мантийно-коровой толщи, генетически связанная с формированием и развитием здесь гетерогенной кимберлитобразующей системы, представленной на уровне верхней мантии — нижних горизонтов земной коры мантийно-коровым диапиром мафит-ультрамафитового состава, на уровне консолидированной земной коры — флюидно-магматической колонной (включая базитовые, базит-гипербазитовые и кимберлитовые расплавы). В потенциальных

геофизических полях она отражается в виде характерной области деформации структурных планов гравитационных и магнитных аномалий, что позволяет определить естественную границу Зимнебережного кимберлитового поля [11].

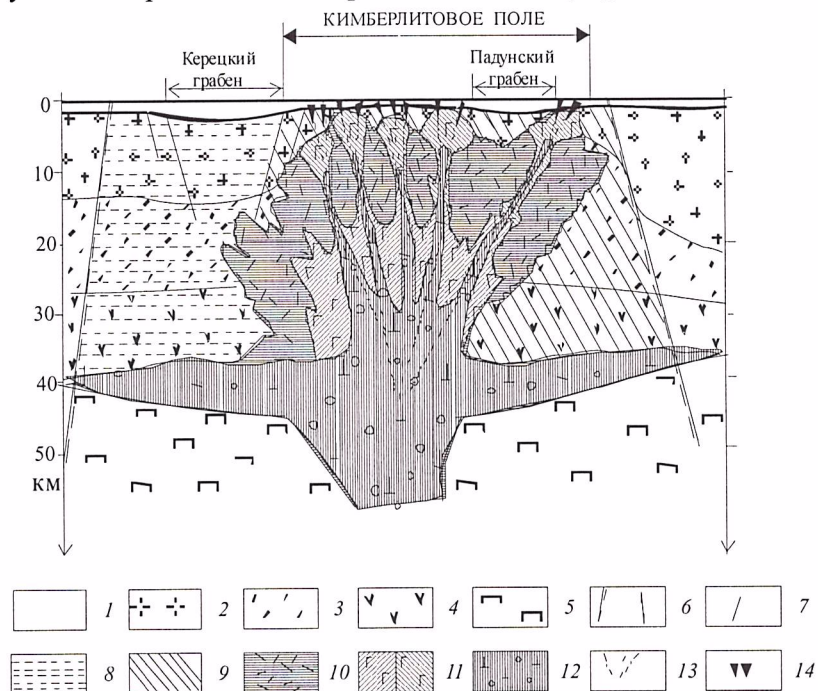


Рис. 2. Модель кимберлитобразующей системы Зимнебережного кимберлитового поля:

1 — осадочный чехол; 2 — гранито-гнейсовый метаморфизованный комплекс; 3 — промежуточный (диоритовый) слой; 4 — гранулит-базитовый слой; 5 — образования верхней мантии; 6 — границы Кольско-Полтинской кимберлитоконтролирующей зоны; 7 — коровые разломы; 8 — область преобразования земной коры вследствие проявления деструктивных процессов раннепротерозойского и рифейского этапов тектогенеза; 9 — наиболее стабильная область земной коры в пределах Кольско-Кулойского ядра протокры и северо-восточного борта Беломорского авлакогена; кимберлитобразующая система кимберлитового поля: 10 — измененные коровые образования; 11 — нижнекоровый диапир (а), верхнекоровые ареалы базит-гипербазитового состава (б); 12 — флюидонасыщенные расплавы кимберлитового состава; 13 — сквозные зоны (их оси) повышенной проницаемости земной коры и осадочного чехла; 14 — тела кимберлитов

В обобщенном виде геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля отражена в табл. 3. Отметим, что эта модель по большинству параметров согласуется с современными представлениями о структуре кимберлитобразующих систем алмазонасных кимберлитовых полей Якутии.

Куст кимберлитовых тел — в пределах кимберлитовых (лампроитовых) полей кимберлитовые трубки расположены дискретно, образуя локальные скопления (группы, кластеры), которые в отечественной литературе называются куст. Площадь этого таксона не превышает первых десятков квадратных километров. Как показали исследования И.П.Илупина, в большинстве случаев кимберлиты каждого такого куста четко отличаются от кимберлитов других кустов особенностями вещественного состава (петрогеохимия, типохимизм минералов-индикаторов) и могут рассматриваться как производные локальных промежуточных магматических очагов (на фоне единого глубинного очага, присущего полю в целом).

К сожалению, по ряду объективных и субъективных причин разработке прогнозно-поисковой модели куста уделялось явно недостаточное внимание. Наиболее изучен в этом отношении Золотицкий кимберлитовый куст, для которого ранее была предложена предварительная прогнозно-поисковая модель [3]. В настоящее время эта модель существенно уточнена и детализирована, прежде всего в плане ее геофизических параметров [11].

При гравитационном моделировании масштаба 1:200 000 (подбор геоплотностных разрезов в диапазоне глубин 0–25 км) установлено, что группы (кусты) кимберлитовых тел в пределах Зимнебережного кимберлитового поля пространственно ассоциируются с локальными купольными структурами в кровле выделенной трансформированной физико-геологической неоднородности. Купольные структуры проявляются в потенциальных геофизических полях в виде характерных комплексных аномальных областей и интерпретируются как скрытые на глубине 2–4 км (и выходящие на поверхность кристаллического фундамента) локальные ареалы базит-гипербазитового магматизма, связанные с отдельными дериватами многофазной флюидно-магматической колонны кимберлитобразующей системы Зимнебережного поля. Для них характерны комплексные положительные аномалии локальных составляющих гравитационного и магнитного полей. Большинство из кимберлитовых и родственных им тел Зимнебережного поля группируются в пределах и по периферии контуров этих ареалов. При этом обособляются не только Золотицкая, Верхотинская, Шочинская, Кепинская, Пачугская группы (кусты) кимберлитовых и родственных им тел, но и меньшие по совокупности группировки объединяемых магматических объектов. Кроме того, выделяется ряд участков, в пределах которых возможно обнаружение новых проявлений кимберлитового магматизма.

Сопоставление рассмотренных аномальных особенностей потенциальных геофизических полей для района месторождения им. Ломоносова (и ближайших прилегающих территорий) с данными интерпретации крупномасштабных (1:25 000 и крупнее) аэромагнитных и аэроэлектрических съемок позволило выявить здесь тесную пространственную связь между гравитационными, магнитными, электрическими аномалиями и проявлениями кимберлитового магматизма. Цепочка тел Золотицкой группы (куста) совмещается в плане с комплексной аномальной геофизической зоной (ширина порядка 3 км), проявленной сочетанием: локальной аномалии горизонтального градиента поля силы тяжести субмеридионального простирания; вытянутой в меридиональном направлении цепочки (ширина 1,5–3 км) положительных остаточных (после осреднения магнитного поля с окном 1×1 км) аномалий магнитного поля; аномалий повышенной проводимости (ДИП-А) также меридионального простирания. В свою очередь, субмеридиональная аномальная зона накладывается (рассекает) комплексную аномальную область (овальная форма, размер в поперечнике 11×15 км) совмещения положительных аномалий локальных составляющих гравитационного и магнитного полей. По совокупности данных, упомянутая субмеридиональная аномальная зона интерпретируется как

сквозная дизъюнктивная зона повышенной проницаемости кристаллического фундамента и осадочного чехла. Кимберлитовые трубки Золотицкого куста расположены вдоль данной проницаемой зоны, при этом все промышленно алмазоносные трубки месторождения им. Ломоносова локализируются только вдоль отрезка субмеридиональной зоны повышенной проницаемости кристаллического фундамента и осадочного чехла, совмещенного с предполагаемым ареалом базит-гипербазитового магматизма. Приведенные данные позволяют рассматривать установленные для Золотицкого куста аномальные характеристики в качестве элементов прогнозно-поисковой модели [11].

Описанные прогнозно-поисковые модели различных минерагенических таксонов для севера Восточно-Европейской платформы по большинству параметров достаточно удовлетворительно согласуются с современными представлениями о структуре кимберлитовых систем алмазоносных кимберлитовых полей Сибирской платформы и мира, поэтому можно достаточно уверенно считать, что эти модели обладают устойчивостью и могут быть использованы в целях прогнозирования.

Таким образом, в принципе, процесс прогнозно-поисковых работ сводится к выявлению (в определенном масштабе) соответствующих элементов прогнозно-поисковых моделей различных минерагенических таксонов и их отражению в картографическом виде. При этом надо учитывать, что как и любая другая иерархически построенная система, модели различных таксонов сочетают разномасштабные элементы, т.е. каждая модель содержит некоторые элементы как выше-, так и нижестоящего в иерархическом ряду таксона, поэтому однозначно сопоставить масштаб работ с соответствующим таксоном невозможно. Анализ практики геологоразведочных работ на алмазы [3] показывает, что в зависимости от масштаба работ и имеющихся материалов выделяются следующие объекты или их фрагменты:

масштаб 1:1 000 000 — выделение алмазоносных (потенциально алмазоносных) субпровинций и зон, предварительное установление площадей ранга поля;

масштаб 1:200 000 — окончательное оконтуривание прогнозируемых полей, предварительное выделение перспективных площадей ранга куста тел; подготовка документации под лицензирование;

масштаб 1:50 000 — детализация внутренней структуры поля; окончательное оконтуривание перспективных участков ранга куста тел и обоснование направлений и методики поисковых работ; заверка наиболее интересных локальных аномалий; обоснование лицензионных площадей.

Важное условие эффективности геологоразведочных работ — районирование территории по условиям ведения поисков, т.е. выделение площадей с различными типами взаимоотношений между прогнозируемыми кимберлитовыми телами и вмещающими и перекрывающими породами, что в итоге определяет эффективность тех или иных поисковых методов (применительно к конкретным территориям) и рациональные схемы их комплексирования (прогнозно-поисковые комплексы).

К основным факторам, контролирующим районирование, относятся следующие:

1. Особенности предполагаемых коренных первоисточников, определяющих петрогенетическим типом ожидаемых коренных алмазоносных пород, содержаниями, соотношениями и составами минералов-индикаторов.

2. Ожидаемый возраст коренных первоисточников алмазов.

3. Предполагаемый уровень эрозионного среза: в зависимости от уровня среза на конкретных территориях на поверхность кимберлитовмещающих пород может выводиться различная часть кимберлитовой трубки: кратерные и диатремовые фации, корневые зоны. Каждая отличная в петрогеохимическом и петрофизическом отношении фаза внедрения при ее «выводе» на уровень эрозионного среза характеризуется своими индикационными параметрами (по крайней мере, критическими значениями этих параметров).

4. Мощность пород осадочного чехла — на кристаллических щитах или территориях, где мощность осадочного чехла не превышает 200–400 м (склоны щитов и кристаллических массивов, выступы фундамента) при обработке аэромагнитных данных часто невозможно определить, где находится верхняя кромка магнитовозмущающего объекта — в пределах чехла или кристаллического фундамента. Фундамент обычно интенсивно насыщен разнообразными интрузивами, создающими множество ложных аэромагнитных аномалий «трубчатого» типа.

5. Характер перекрывающих отложений. В самом общем виде можно выделить следующие типы перекрытия: открытые территории, где кимберлитовмещающие породы перекрыты лишь четвертичными континентальными осадками; терригенными дочетвертичными породами, где эффективность прогнозно-поисковых методов зависит от мощности терригенных толщ, их фациальной принадлежности и седиментологических особенностей формирования; карбонатными или другими скальными породами; территории, где в строении перекрывающей толщи участвуют как терригенные, так и карбонатные породы; перекрытые траппами; территории, где в составе четвертичных отложений доминирует сложно построенный комплекс ледниковых осадков.

Перечисленные факторы районирования могут достаточно произвольно сочетаться, обуславливая большое разнообразие поисковых обстановок. Следовательно, задача поискового районирования в общем виде не имеет решения; для каждого конкретного региона разрабатывается своя схема районирования, исходя из указанных факторов.

Для каждого выделенного типа поисковых обстановок анализируются эффективность и разрешающая способность всех методов (геологические, геофизические, шлихо-минералогические и др.), и выбирается тот комплекс методов (прогнозно-поисковый комплекс — ППК), который позволяет наиболее рационально решить главную задачу стадии — выявить основные элементы прогнозно-поисковой модели таксона, соответствующего масштабу работ.

Особое значение здесь имеет шлихо-минералогический метод. Все упомянутые геолого-геофизические критерии — косвенные (может быть — а может и не быть), и лишь минералогические данные (наличие ореолов минералов-индикаторов ближнего перено-

са и самих алмазов в рыхлых отложениях) дают прямую информацию о наличии в пределах прогнозной площади алмазоносных (потенциально алмазоносных) объектах. Подчеркнем, что, согласно существующим инструктивным документам, оценка прогнозных ресурсов категории P_3 проводится только при наличии убедительных минералогических данных, если же они отсутствуют, то даже яркие косвенные геолого-геофизические критерии позволяют оценивать лишь металлогенический потенциал.

В неледниковых районах шлиховое опробование наиболее эффективно на открытых площадях, где оно проводится в ходе маршрутных исследований. В ледниковых районах (а к таковым относится практически вся территория Восточно-Европейской платформы) наиболее эффективные результаты могут быть получены на площадях, где ледниковые осадки непосредственно перекрывают кимберлитовмещающие породы. При мощности ледниковых осадков более 60 м обломочный материал с их подошвы не выводится на поверхность, поэтому опробование водотоков не имеет смысла. При залегании ледниковых отложений на древних терригенных осадках минеральный состав ледниковых образований опосредованно отражает состав древних толщ. В этом случае эффективность шлихо-минералогических поисков резко снижается.

В ледниковых районах в отличие от внеледниковых теряет смысл проведение шлихового опробования по равномерной сети, что связано с крайне незначительными размерами ореолов, возникающих в большинстве типов ледниковых осадков. Рекомендуются следующие методические приемы опробования: опробование проводится по профилям, расположенным вкрест направления перемещения ледника, отложившего рельефообразующую морену. Цель опробования — выявление смены шлиховой ассоциации по направлению перемещения ледника. Появление кимберлитовых минералов может свидетельствовать о нахождении на пути перемещения ледника искомым объектов. Наиболее оптимально в этом отношении опробовать краевые ледниковые образования. При их отсутствии можно опробовать водотоки, более или менее совпадающие с направлением профиля, пляжи, цепочки озер. Последние представляют наибольший интерес, так как на пляжах озер происходит естественное обогащение шлиховой ассоциации за счет перемыва большого объема ледниковых осадков.

Составление карт прогноза коренной алмазоносности масштабов 1:2 500 000–1:200 000 проводится на основе интегрированного анализа промежуточных карт и схем (тектонического строения докембрийского кристаллического фундамента, глубинного структурно-минерагенического районирования, структурно-формационных по осадочному чехлу, морфометрических, шлихо-минералогического опробования и др.) соответствующего масштаба. На итоговую карту прогноза коренной алмазоносности выносятся, согласно разработанным критериям, все алмазоконтролирующие факторы, выявленные в ходе проведения исследований того или иного масштаба рассматриваемых территорий различными методами. По результатам комплексного анализа этих «алмазоконтролирующих» факторов оценивается степень перспективности рассматриваемых площадей на проявления в их пределах алмазоносного магматизма.

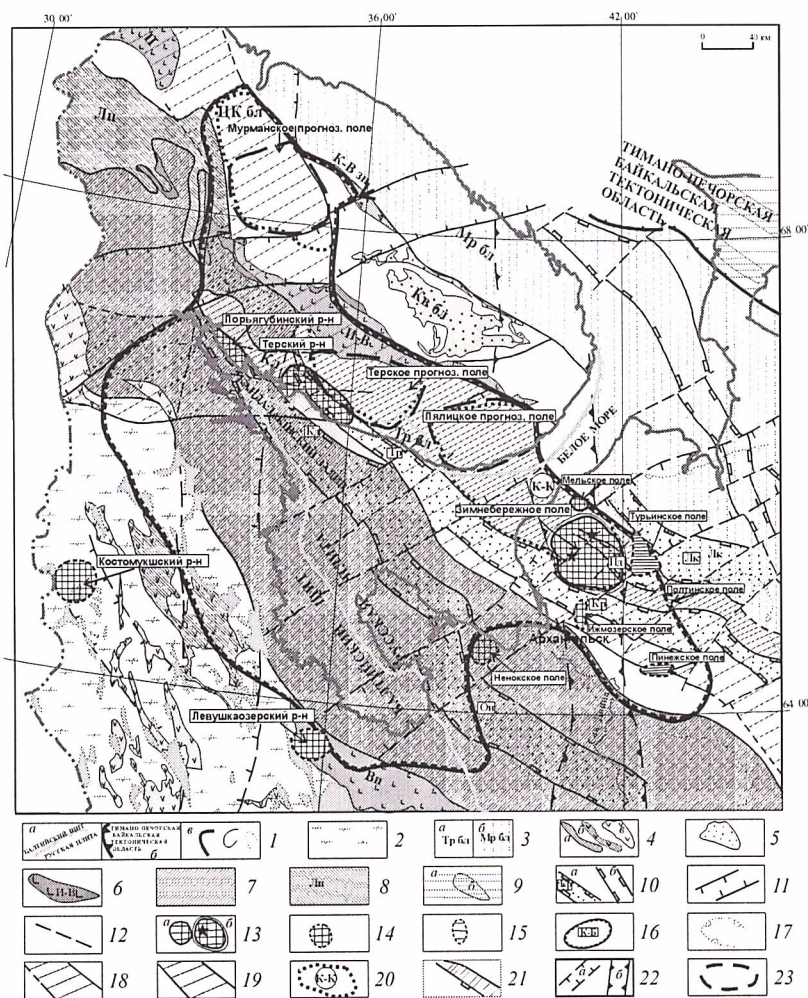


Рис. 3. Карта структурно-минералогического районирования и прогноза коренной алмазности севера Восточно-Европейской платформы (на основе геофизических данных):

Структурно-тектоническое районирование. 1 — границы: а — распространения чехольных отложений Русской плиты (маркирующая границу между Балтийским щитом и Русской плитой), б — между Русской плитой и Тимано-Печерской тектонической областью, в — структурно-вещественных неоднородностей раннекембрийского кристаллического фундамента; архейские геоблоки: 2 — Карельский, 3 — Кольский в составе: а — Мурманского блока, б — Центрально-Кольского сегмента (Цк бл — Центрально-Кольский, Кв бл — Кейвский, Тр бл — Терский геоблоки); 4 — зеленокаменные пояса в составе архейских геоблоков: а — позднеархейские (в том числе б — Колмозеро-Воронья), в — протерозойские; 5 — протоплатформенный чехол; б — проторифтогенные пояса: П — Печенгский, И-В — Иммантра-Варгужский (формирующие Печенга-Имантра-Варгужский пояс), Вп — Ветреный; 7 — Беломорский позднеархейский подвижный пояс; 8 — Лапландско-Колвицкий раннепротерозойский гранулитовый пояс в составе: Лп — Лапландского и Кл — Колвицкого поясов; 9 — Тимано-Печерская байкальская тектоническая область (а), выходы байкалитов на современный уровень эрозионного среза в ее пределах (б); 10 — рифейские грабены: а — Беломорского (Кд — Кандашский, Тр — Терский, Он — Онежский Онежско-Кандашской ветви авлакогена; Кр — Керещкий и Пд — Падунский, Лк — Лешуконский Керещко-Лешуконской ветви авлакогена), б — Баренцевоморского и Среднерусского авлакогенов; 11 — Ботническо-Хибинская зона палеозойской активизации, по данным Л.И. Увадьева и др., 1989; 12 — трансформные и прочие разломы. Известные поля проявлений кимберлитового, лампроитового (и родственного им) магматизма и отдельные проявления магматизма платформенного этапа развития: 13 — кимберлитовые: а — в целом, б — Зимнебережное поле с установленной промышленной алмазностью (выделенное по геолого-геофизическим данным в представленной работе); 14 — проявлений лампроитов и родственных кимберлитам пород; 15 — толеитовых базальтов. Элементы глубинного строения, в том числе определяющие позицию Зимнебережного (промышленно алмазного) и прогнозируемых (потенциально алмазных) кимберлитовых полей: 16 — Кольско-Беломорский блок относительно стабильной (на платформенном этапе развития) литосферы с относительно плотной земной корой гранулитогнейсового состава, отождествляемой с одноименной кимберлитовой субпровинцией; 17 — области возбужденной мантии в основании Мезенской синеклизы и Онежского прогиба; 18 — Кольско-Полтинская мантийно-коревая линейно-блоковая тектоническая зона северо-западного простираения в целом; 19 — часть, прослеживаемая в пределах Кольско-Беломорской кимберлитовой субпровинции и отождествляемая с Кольско-Полтинской кимберлитоконтролирующей зоной; 20 — ядра протокоры, в том числе К-К — Кольско-Кулойское; 21 — часть зоны, совмещенная с северо-восточным бортом Беломорского авлакогена; 22 — зоны глубинных разломов (а), в том числе Мегра-Кепинская (б), контролирующая позицию Зимнебережного кимберлитового поля. Прогноз потенциально алмазных кимберлитовых полей: 23 — контуры прогнозируемых кимберлитовых полей

С использованием уже охарактеризованной стадийной прогнозно-поисковой технологии в ЦНИГРИ за последнее время составлена сводная карта алмазоносности Восточно-Европейской платформы масштаба 1:2 500 000; для основных алмазоперспективных регионов масштабов 1:1 000 000–1:500 000, с отдельными врезками масштаба 1:200 000. Эти карты лежат в основе планирования геологоразведочных работ на алмазы, переоценки прогнозных ресурсов, выделения площадей под лицензирование.

В качестве примера приведена карта прогнозно-минерагенического районирования и прогноза коренной алмазоносности северо-западной части Восточно-Европейской платформы (рис. 3). На карте отражены границы основных минерагенических таксонов (субпровинция, зона, поле), показаны известные проявления кимберлитового и родственного ему магматизма и выделены три наиболее перспективные площади ранга кимберлитового поля — Пялицкая, Мурманская и Терская.

Список литературы.

Барышев А.С. Физико-геологическая модель кимберлитового поля и оптимальный комплекс геологических, геофизических и геохимических прогнозно-поисковых критериев // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. — Мирный, 1998.

Бородаевская М.Б., Кривцов А.И., Лихачев А.П. и др. Принципы и методы прогноза скрытых месторождений меди, никеля и кобальта. — М.: Недра, 1987.

Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). — М.: ЗАО Геоинформмарк, 2000.

Ваганов В.И., Волчков А.Г., Константинов М.М. и др. Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. — М., 1989.

Ваганов В.И., Варламов В.И., Фельдман А.А. и др. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов // Отечественная геология, 1995. — № 3. С. 42–53.

Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Минорин В.Е. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Алмазы». — М., 2002.

Кривцов А.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений, металлогения и прогноз рудоносности: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1991.

Манаков А.В. Технология выделения литосферного корня на основе интегрированного анализа геолого-геофизических данных / Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. — Воронеж, 2001.

Никулин В.И., Лелюх М.И., Фон-дер-Флаас Г.С. Алмазопрогностика (методическое пособие). — Иркутск, 2002.

Прогнозно-поисковые комплексы. Вып II. Методические рекомендации по прогнозу и поискам медно-порфировых месторождений. — М., 1983.

Прусакова Н.А. Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля. Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.

Суворов В.Д. Глубинные сейсмические зондирования в Якутской кимберлитовой провинции. — Новосибирск, 1993.

Шимизу Н., Соболев Н.В., Ефимова Э.С. Химическая гетерогенность гранатовых включений и ювенильность перидотитовых алмазов из Сибири // Геология и геофизика. 1997. Т.38. (Спец.выпуск).

СИСТЕМАТИКА ЗОЛОТОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ФОРМАЦИЙ — КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ИХ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ

С.С. Сердюк (КНИИГиМС)

Классическое понимание рудной формации в отечественной науке сформировалось под влиянием работ Ф.Ю. Левинсон-Лессинга, М.А. Усова, С.С. Смирнова, В.А. Кузнецова, Р.М. Константинова, М.М. Константинова, Ю.А. Билибина, Н.А. Шило, Н.А. Фогельман, П.А. Строны, С.Д. Шера и др. В трактовке упомянутых исследователей рудная формация — естественное сообщество, т.е. группа рудных месторождений, характеризующаяся близкими парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов (металлов), определяющих промышленное значение месторождения, сходными физико-химическими условиями образования, типовой тектономагматической обстановкой образования, близкими особенностями промышленных параметров (минеральный состав, морфология, пространственные характеристики рудных тел, концентрация полезного компонента).

Отечественными исследователями в последние десятилетия разработан ряд классификаций месторождений золота, базирующихся на принципиальных положениях рудоформационного анализа [1–6, 8–11, 16–18].

Основываясь на опыте отечественных исследователей и фактическом региональном материале предлагаем следующую систематику эндогенных и экзогенных золотоносных формаций Центральной Сибири, вмещающую триаду моделей (таблицы 1 и 2).

Данная систематика золотоносных формаций охватывает две группы: эндогенную, представленную в табл. 1, (золото кварцевая, золотосульфидная, золотоплатино-медно-никелевая комплексная сульфидная, золотокварц-сульфидная с метасоматитами березит-лиственитового ряда), золотосеребряно-кварц-сульфидная, золотокварц-сурьмяная, золото-ртутная) и экзогенную (формации золотоносных кор выветривания: золотоносных каолинитов и лимонитов, золото-вермикулитовая, золотоносных бурых железняков, кварцевых и сульфидных сыпучек; золотоносная окисно-марганцевая; золотоносных кор выветривания по метасоматитам пропилит-березитового ряда; формации золотоносных россыпей: аллювиальная, элювиальная (элювиально-делювиальная), техногенная (см. табл. 2).

Основные классификационные характеристики (признаки) систематики составляют три группы: 1) геолого-металлогеническая характеристика формации (формационная модель): минеральный состав руд (песков), вертикальный размах оруденения; морфологический тип рудных тел; пространственные параметры рудных тел: протяженность, мощность (ширина), протяженность по падению, содержание полезного компонента; продуктивность рудного поля; рудовмещающие породы; 2) типовая геолого-металлогеническая и прогнозно-поисковая модели месторождения; примеры наиболее

1. Систематика эндогенных золотоносных формаций, месторождений и геолого-металлогенических обстановок их размещения

Геолого-металлогеническая характеристика	Формации						
	Золотокарбонатная (малокарбонатная, сульфидов до 3-5 %)	Золотосульфидная	Золотоплатино-медно-никелевая комплексная сульфидная	Золотокарбонат-сульфидная, часто с метасоматитами березит-литвинитового ряда	Золотосеребряно-кварцосульфидная	Золотокарбонат-сульфидная	Золото-ртутная
1. Формации (формационная модель) 1.1. Минеральный состав руд (песков); вертикальный размах оруденения, м	2 Кварц-карбонат-пирит-пирротин-арсеницит-золото (свободное в кварце, сульфиды). Пробность 920-985. Вертикальный размах оруденения – до 1500 м	3 Первичные руды. Кальцит-кварц-мусковит-клиноцоизит, арсеницит-пирротин-антимонит, бертерит. Содержание сульфидов от 3-5 до 95%. Золото тонкое, дисперсное, пылевидное. Пробность: I генерация – 910-997; II генерация 640-760. Окисленные руды коры выветривания. Кварц-гидрослюда-монтмориллонит-каолинит-бурожелезняковское оруденение. Вертикальный размах оруденения – 1500 м	4 Вкрапленные руды: троилит-пирротин-кубанит-халькопирит-пентландит. Массивные руды: халькопирит (галнахит, моноксит, пурторанит) – кубанит-пентландит-троилит-магнетит; (халькопирит-кубанитовые, кубанит-халькопирит-пирротин-пентландит) с Au, Pt, Pd, Ph, Ru, Ir, Os; вкрапленные руды: пирротин-пентландит-сульфоарсениды железа, никеля, кобальта (ЭПГ); вертикальный размах оруденения до 300-1500 м	5 Сульфиднокарбонатный, кварцосульфидный, золотоосульфидный (кварц-полевой шпат-кальцит-пирит-халькопирит-пирротин), сульфидизированные кварц-березитовые метасоматиты. Пробность 770-940. Вертикальный размах до 600 м	6 Кварц-карбонат-пирит-сфалерит-галенит-халькопирит. Пробность золота 585. Основная примесь – серебро. Вертикальный размах оруденения до 600 м. Пробность 585	7 Кварц-антимонит-бертерит-золото; золото-кварц-пирит-арсеницит. Вертикальный размах оруденения до 250 м. Пробность 550-750	8 Карбонат-кварц-пирит-арсеницит-реалгар-аурипигмент-антимонит-киноварь. Вертикальный размах оруденения до 300 м. Пробность 500-650
1.2. Морфологический тип рудных тел: параметры рудных тел: <i>L</i> – протяженность, м; <i>M</i> – мощность (ширина), м; <i>H</i> – протяженность по падению, м; <i>C</i> – содержание Au, г/т; <i>P</i> – продуктивность рудного (россышного) поля, т/км ²	Жилы, жильно-прожилковые зоны, линейные штоковые, залежи; <i>L</i> 1000-3500 м, <i>M</i> 1-50-200 м, <i>H</i> до 1200 м, <i>C</i> 2-3 - 5-7 г/т; <i>P</i> 1-150	Седловидные и S-образные залежи, линзовидные и столбообразные тела; <i>L</i> 400-1000 м, <i>M</i> 2-140 м, <i>H</i> 800-1500 м, <i>C</i> 4-6 – 10 г/т (первичные руды), 10-20 г/т (окисленные руды коры выветривания), <i>P</i> 100	Зональные рудные горизонты (залежи) вкрапленных, массивных, столбообразно-вкрапленных руд; <i>L</i> 400-1000 м, <i>M</i> 2-140 м, <i>H</i> 800-1500 м, <i>C</i> 4-6 – 10 г/т (первичные руды), 10-20 г/т (окисленные руды коры выветривания), <i>P</i> 100	Жилы, линзы вкрапленно-прожилковых руд. Столбообразные тела, метасоматические залежи березитов; <i>L</i> до 500 м, <i>M</i> до 12 м, <i>H</i> до 600 м, <i>C</i> 10-15 г/т; <i>P</i> 10-100	Кварцевые жилы, зоны прожилков; <i>L</i> 1000-1200 м, <i>M</i> до 2 м, <i>H</i> 400-600 м, <i>C</i> 5-20 г/т; <i>P</i> 1-20	Жилы, сложные крутопадающие жилы, зоны; <i>L</i> 400 м, <i>M</i> 0,3-18,1 м, <i>H</i> до 170 м, <i>C</i> 2-5 г/т; <i>P</i> 10-30	Столбообразные штоковые; <i>L</i> 600 м, <i>M</i> 50 м, <i>H</i> до 100 м, <i>C</i> 2,3 – 9,0 г/т; <i>P</i> 10-50
1.3. Рудовмещающие породы	Кварц-хлорит-серпичитовые, кварц-серпичит-хлоритовые углеродистые сланцы (филлиты)	Кварц-сподулистые, сланцы с гранатом, кварц-карбонат-сподулистые сланцы с линзовидными телами мраморизованных известняков, углеродистые	Дифференцированные габбро-долериты (габбро-диориты, лейкократовые габбро) в горной зоне внедрения на контакте терригенных	Диориты, гранодиориты, плагиограниты	Гранатовые и пироксеновые плагиогнейсы и гранулитовые амфиболитовой – зеленосланцевой	Кварц-серпичитовые, карбонат-серпичитовые сланцы	Алевкоаргиллиты; дай-ки кварцевых порфиров, лампрофиров.

1	2	3	4	5	6	7	8
		сланцы	(угленосных) и вулкано-интрузивно-огненных толщ		фаций		
2. Типовая геолого-металлогеническая и прогнозно-поисковая модели месторождения	Локальные складки, осадочные зоны смятия и расщепления песчано-сланцевых толщ, контролируют системы складчатых и секущих кварцевых, жильных и жильно-прожилковых зон и тел (линзовидные и S-образные формы и их сочетания)	Метасоматические залежи седловидной и линзовидной формы прожилково-вкрапленных золотосланцевых руд, локализованных в сводовых частях антиклиналей и синклиналей как правило «поперечных» к простираанию осадочных геологических структур. Зоны эндо- и экзоконтактов батолитов гранитоидов, наложенные линейные золотосланцевые коры выветривания	Вулкано-интрузивно-огненных толщ	Жилы и линзы, конгломераты, зоны тропических разломов в эндо- и экзоконтактных зонах, «выступы» гранитоидных массивов	Сложные системы локальных складок и разрывных нарушений (зоны милонитов и диафоритов), опережающие крупные зоны милонитов (мощность до 2-3 км). Приенсейского глубинного разлома	Зоны смятия и мелкой складчатости в парagneзисе с системой субсогласных разрывных нарушений в приадренных частях складок	Крылья брахиантиклиналей, осложненные системой разноразломов
2.1. Геолого-металлогеническая модель							
2.2. Прогнозно-поисковая модель	Формационно-петрологические: переслаивание серо-зеленых кварц-гидрослюдистых и хлорит-гидрослюдистых сланцев, алевроит-глинистых и карбонатно-глинистых сланцев (рифей; удерейская свита, среднеудерейская подсвита). Структурные: поля разрывных и складчатых деформаций, формирующие в целом «субсогласную» рудоносную залежь в мульд-Васильевской синклинали, интерпретируемую в качестве зоны относительного растяжения (ЗОР). В ее пределах локализована и прогнозируется система жильных, жильно-прожилковых и возможно штоковых кварцевых зон и зон вкрапленно-прожилковой сульфид-	Формационно-петрологические: рудомещающая формация – рифейская углеродистая карбонатно-песчаниково-сланцевая формация (кординская свита, сухопитская серия) в надинтрузивной зоне гранитоидного массива татарско-аятинского комплекса (рифей). Толща, состоящая из переслаивающихся кварц-сплюснутых сланцев, кварц-карбонат-сплюснутых сланцев с линзовидными телами мраморизованных известняков и углеродистых кварц-сплюснутых сланцев. Структурные: провис кровли гранитоидного массива (надинтрузивная зона амплитудой от <0,5 до 1,0 км), структурно-организованный в Медвежинскую антиклиналь, осложненную одноименным разломом СВ простираения локализу-	Формационно-петрологические: дифференцированные интрузии (пермо-триасовой трапповой формации). Структурные: тектонические осложнение платформы в виде «Входящих углов», представленных парагенезом глубинных разломов и мульд. Метасоматические: контактово-метасоматические образования широкого диапазона (роговики, скарны метасоматиты). Геохимические: геохимические аномалии Cu, Ni, Co. Минералогические: пентландит, пирротин, моноксит, сперрилит. Металлогенические: Рудного поля (запасы+ресурсы) до ~100 т/км².	Структурные: интрузивные выступы вмещающие породы с развитием рудоподводящих субширотных и рудооткачивающих СВ, субмеридиональных и субширотных крупноплавающих нарушений, а также места их пересечений и сопряжений в существенно карбонатных породах формируются преимущественно сульфидные и карбонатно-гематитовые руды, в силикатной среде - кварцевые и кварц-сульфидные жилы. Магматические: приуроченность оруженности к приконтактовому Охловского массива и дайкам габбро-диоритов, диоритов, аплитов и лампрофиров ольхов-	Формационно-петрологические: архейские гранулиты и гнейсы кузевской толщи (канская серия), Пироксеновые, граптоидные гранулитогнейсы, высокоглиноземистые гнейсы. Структурные: зоны локальных разломов СВ простираения, S-образно сопрягающиеся с главной зоной Приенисейского разлома Метаморфические: диафориты амфиболитовой, эпидот-зеленосланцевой фаций в доминирующем поле гранулитовой фации. Метасоматические: гидротермально-метасоматические кварцевые жилы с	Формационно-петрологические: удерейская черносланцевая (аспидная) формация (аспидная) формация; Филлитизированные кварц-серпичитовые сланцы, алевроит-глинистые сланцы, графитизированные серпичитовые сланцы (рифей, удерейская свита, нижняя подсвита) Структурные: локализация оруженности в системе полостей (зона относительного растяжения) локальных складок и трещинных зон в мульд-Васильевской Удерейской брахи-синклинали. Метасоматические: развитие рассеянной вкрапленности пирита и аренопирита, кварц-сульфидное прожилко-	Формационно-петрологические: глинисто-карбонатная форма (нижний-средний ордовик). Алевроаргиллиты (средний ордовик). Структурные: сопряжение периклинального замыкания брахиантиклиналей и системы локальных разрывных нарушений СВ и СЗ ориентировки. Штокверк жильно-прожилковый, размер 600х50 м. Метасоматические: гидротермально-метасоматические преобразования: карбонизация, окварцевание. Геохимические: кон-тастные аномалии Hg, As, Sb, Au. Минералогические: кинварь, реальгар, аурипигмент, золото низкоробное. Металлогенические: Рудного поля (запа-

1	2	3	4	5	6	7	8
	ной минерализации. Метасоматические: аралы и зоны кварцевых, кварцевосульфиднопрожилковых зональных образований; стадии минералообразования - I альбит-кварцевая, II - пирит-арсенопирит-кварцевая, III - полисульфидно-анкеритовая, IV - кальцит-гидрослюда. Вторую стадию минералообразования формировала основная масса золоторудных тел, в третью - обогащенные золотом рудные столбы. Геохимические: установлена зональность эндогенного геохимического поля (в порядке убывания подвижности элементов): Sb-Ag-Zn-Pb-Ba-Cu-As-Au-Mo-Cr-V-Sr-Ni. Отмечается прямая зависимость в распределении концентраций As и Au. Продуктивность орослов Au, Pb, Zn, Cu увеличивается в СВ направлении и на глубину, что подтверждает перспективы глубоких горизонтов на промышленное орудование. Минералогические: кварцевые жилы (прожилки), золото самородное мелкогнездовое, крапленое. Золото в основном (85%) крупнее 0,25 мм. Средняя пробыность золота 970. Россыпи золота, шлиховые	щие S-образные седловидные и линзовидные метасоматические залежи вкрапленно-прожилковых руд в сводовых частях анатеклинали и осложняющих ее складок высоких порядков. Метаморфические: эпидот-амфиболитовая фация. Метасоматические: зоны окварцевания, позитив-содержащих хлорит-карбонатных метасоматов с арсенопиритовой и антимонитовой минерализацией, вторичных кварцитов и карбонатных метасоматитов, часто с игольчатым арсенопиритом. Геохимические: высококонтрастные первичные ореолы рудных тел - Au, As, Sb, W, Pb, Ag, Zn, Cu, Mn. Минералогические: первичные руды: рудные - арсенопирит, пирротин, золото, антимонит, шеселит, серебро, киноварь, пирит, бертьерит; нерудные - кварц, карбонаты, слюды. Золото каплевидное, субмикроскопическое и пылевидное. Две генерации золота: ранняя высокопробная 910-997 с повышенным содержанием Hg от 0,2 до 5,48%, поздняя низкопробная 647-757 с очень высокими содержаниями Hg от 8,89 до 12,91% и относительно высокими содержаниями Ag (15-22 %) Металлогенетические: Р –	Геофизические критерии: гравитационные и магнитные аномалии	ского комплекса Метасоматические: скары, подверженные поздним процессам послекварцового гидротермального метасоматоза - лиственниции, окварцеванию и сульфидизации, а также продукты контактового и гидротермального площадного и локального метасоматоза с зонами вкрапленной сульфидной минерализации. Минералогические: главные рудные минералы пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, пентландит, борнит, сфалерит, блеклая руда, теллуриды Cu, Bi, Ag и Au. Наличие мышьяковистого пирита кубепангондодекаэдрического облика и длиннопризматического игольчатого арсенопирита. Особенности распределения в пиритах As, Sb, Bi, Te, Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, V, Cr. Из них As, Sb, Au, Ag, в повышенных количествах обнаруживаются в околорудных метасоматитах (пирит II) и в рудных телах (пирит III рудогенный). Геофизические: повышенная дисперсия магнитного поля, приуроченность к	сульфидами (до 15 %); мощность жил - от первых сантиметров до 1,5 м, протяженность - от первых десятков метров до 900 м. Геохимические: вторичные линейные аномалии Au, Zn, Pb, Cu. Минералогические: пирит-сфалерит-галенитовая с арсенопиритом и блеклыми рудами ассоциация (до 15% объема рудных тел); нерудные - кварц, кальцит, сидерит. Золото мелкое (0,004-0,3 мм), пробыность 585, среднее содержание 8-15 г/т. Металлогенетические: Р рудного поля (запасы - ресурсы) до ~1-20 т/км². Геофизические критерии: линейные аномалии вызванной поляризации (ВП)	вание, карбонатизация, серицитизация. Геохимические: контрастные первичные и вторичные ореолы As, Sb, Au. Минералогические: главные рудные минералы: антимонит, бертьерит, золото, нерудные: кварц, серицит, сидерит. Металлогенетические: Р рудного поля (запасы-ресурсы), т/км²: сурьма: Р 38; Au: Р 25. Геофизические: Аномалии высокого электрического сопротивления; аномалии низкого радиоактивного гамма-излучения	сы+ресурсы) ~ 10-100 т/км².

1	2	3	4	5	6	7	8
	ореслы золота. Металлогенетические: P рудного поля (запасы+ресурсы), т/км ² ; до п. 100. Геофизические критерии: дифференцированные аномалии ΔZ (от 100 до 1250), ρ_k – от 17 до 100 Ом•м ВП	продуктивность рудного поля (запасы+ресурсы), т/км ² ; до п. 100. Геофизические критерии: дифференцированные аномалии ΔZ (от 100 до 1250), ρ_k – от 17 до 100 Ом•м		участкам повышенной корреляции (ΔT) и Δg , гамма-поля, концентрации U, Th, K, вертикальные производные, модуля полного горизонтального градиента, псевдогравиационного поля, дисперсии, асимметрии и эксцесса			
2.3. Примеры месторождений	Советское, Васильевское, Доброе, Пролетарское, Эльдорато, Первенец, Кварцевая гора, Герфедское (Енисейский край), Октябрьское (Зап. Саян)	Олимпиадинское, Михайловское, руч. Золотого, Ведугинское, Боголюбовское (Енисейский край), Ольховское, Константиновское (Восточный Саян); Тарданское (Восточно-Тувинская область)	Норильск-1, Талнахское, Октябрьское	Лысогогорское, Средняя Тарча, Высота 830, Дистлеровское (Восточный Саян), Зырянское (Енисейский край), Тардан-II, Вертолетное (Восточно-Тувинская область, Харальский район)	Богунайское, Кузевское, Любимовское (Южно-Енисейский край)	Удереиское, Раздолинское (Енисейский край)	Извиллистое, Убойнинское (Таймыр), Большое, Угловое (Енисейский край), Терлигхайнская зона (Тува) (?)
3. Геолого-металлогенетическая характеристика закономерностей локализации формаций (региональная модель) 3.1. Тектонические комплексы	Геосинклинальные (многоосинклинальные) терригенные комплексы формаций (аспидная, флишевая), сложноположенные системной линейных (изоклинальных) складок и субогласных зон разломов, в сочетании с аралами батолитов гранитоидов; зеленосланцевая (в основном) фация регионального метаморфизма	Геосинклинальные (многоосинклинальные) существенно терригенные комплексы формаций, сложенно-разнообразных складок (линейных, изоклинальных) и зон смятия и катаклаза в парагенезисе с аралами батолитов гранитоидов (экзо- и эндо- контактовые области аралов гранитоидов)	Герцинский активизированный тектонический комплекс (терригенные и вулканогенные формации в парагенезисе с дифференцированными интрузивными (силлами) габбро-долеритов	Геосинклинальные (эвгеосинклинальные) терригенно-карбонатно-вулканогенные комплексы в парагенезисе с аралами штокров батолитов гранитоидов, гранодиоритов (надинтрузивные и внутринтрузивные аралы)	Докарельский протогейсинклинальный, гнейсово-гранулитовый комплекс, диафторированный до амфиболитовой зеленосланцевой фаций по зонам милонитов и ультра милонитов	Геосинклинальные (многоосинклинальные) существенно терригенные комплексы формаций, осложненные системами линейных и брахиформных складок в сочетании с зонами расщепления и катаклаза разломов	Активизированный каледонский платформенный комплекс (углеродисто-кремнисто-сланцевая формация) в парагенезисе с аралами даек «пестрого» состава в зонах разломов
3.2. Металлогенетические комплексы (зоны)	Байкальский металлогенетический комплекс Енисейской (Центральная металлогенетическая зона), Таймыро-Североземельской (Мининско-Вальтеровская и Вальтеровская металлогенетическая зона); Енисейский, Челюскинский золотокварцевые пояса (зоны)	Байкальский металлогенетический комплекс Енисейской (Центральная металлогенетическая зона), Таймыро-Североземельской (Мининско-Вальтеровская и Вальтеровская металлогенетическая зона); Енисейский, Челюскинский золотокварцевые пояса (зоны)	Герцинский металлогенетический комплекс Норильской провинции (Норильская, Харалахская металлогенетическая зона)	Байкальский и каледонский (салаирский) металлогенетический комплекс Енисейской (Приенисейская металлогенетическая зона), Восточно-Саянско-Сисимо-Казырская металлогенетическая зона, Таймыро-Североземельской (Чукчинско-Челюскинская металлогенетическая зона) протв.	Докарельский и каледонский металлогенетический комплекс Енисейской (Ангаро-Канская металлогенетическая зона; Богунайский, Кузевский рудные узлы) провинции	Байкальский металлогенетический комплекс Енисейской провинции (Центральная металлогенетическая зона; Вальтеровская-Удереиская рудная зона)	Каледонский активизированный металлогенетический комплекс Таймыро-Североземельской и Енисейской провинций

2. Систематика экзогенных золотоносных формаций, месторождений и геолого-металлогенических обстановок их размещения

Геолого-металлогеническая характеристика	Формации							Элювиальная (элювиально-делювиальные)	Техногенная
	Золотоносных каолинитов и лимонитов	Золото-вермикулитовая	Золотоносных бурых железняков, кварцевых и сульфидных сыпучек	Золотоносная окисно-марганцевая	Золотоносных кор выветривания по метасоматитам пропилит-брезитового ряда	Золотоносных каолинитовых «галечников и песков»	Аллювиальная (пойменные, террасовые)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Формации (формационная модель) 1.1. Минеральный состав руд (песков); вертикальный размах оруденения, м	Кварц-гидрогетит-лимонит-каолинит. Вертикальный размах оруденения до 150 м. Пробность 900-950	Гидрогетит-каолинит-вермикулит. Вертикальный размах оруденения до 200 м	Глинисто-лимонитовые руды и кварцевые сыпучки. Вертикальный размах оруденения 200 м. Пробность 870-950	Гетит-псиломелан-каолинитовые руды. Вертикальный размах оруденения 200-250 м. Пробность: первичные руды 720-750, руды коры выветривания 730-1000	Кварц-гидрогетит-каолинитовые руды. Вертикальный размах оруденения до 200 м	Кварц-каолинитовые руды по конгломератам. Вертикальный размах оруденения до 100 м. Пробность 900-980	Галечно-песчаные отложения. Вертикальный размах россыпей 400-450 м. Пробность 800-970	Глинистые, гравийно-песчаные, речные, глинистые отложения. Вертикальный размах россыпей 300-400 м. Пробность 900-980	Галечно-гравийно-песчаные, речные, глинистые отложения. Вертикальный размах россыпей 400-500 м. Пробность 700-950
1.2. Морфологический тип рудных тел; параметры рудных тел: L - протяженность, м; M - мощность (ширина), м; H - протяженность по падению, м; C - содержание Au, г/т; P - продуктивность рудного (россысного) поля, т/км ²	Минерализованные зоны, залежи, унаследованные от первичных руд. L 1100 м, M до 50 м, H 150-300 м, C 5-10 г/т; P 100	Линзовидные тела, залежи. L до 500, M до 60 м, H 200 м, C 2-24 г/т; P 10	Линзовидные тела, пластобразные тела, в том, числе в карсте. L 100-500 м, M 10-50 м, H 200 м, C 2,5-25 г/т; P 1-50	Линзовидные зоны, пластобразные залежи L 1200 м, M 100 м, H 200 м, C 2-10 г/т; P 10	Линзовидные зоны, пластобразные залежи. L 1700 м, M до 300 м, H 200 м, C 2-10 г/т; P 10	Плащеобразные залежи. L 2500 м, M до 50 м, H до 100 м, C 2-10 г/т; P 1-5	Лентообразные русловые и террасовые залежи. L 100-2000 м, M 100-2000 м, H 10-50 м, C 1-10 г/м ² ; P 0,1-10	Плащеобразные и линейные залежи. L 100-2000 м, M 100-2000 м, H 10-50 м, C 1-10 г/м ² ; P 0,1-10	Лентообразные русловые и террасовые залежи. L 100-2000 м, M 100-2000 м, H 10-50 м, C 1-10 г/м ² ; P 0,1-10
1.3. Рудовмещающие породы	Метаулканы основного - среднего состава, кварц-слюдистые углеродистые сланцы	Гидрогетит-каолинит-вермикулитовые образования	Карбонатные породы, гранитоиды, роговики	Терригенно-карбонатные породы, кварц-серпентинитовые сланцы	Кварц-серпентинитовые сланцы	Серицит-хлорит-кварцевые сланцы, карбонат-слюдистые углеродистые сланцы	Гравийно-галечно-песчаные отложения	Щебнисто-глинистые отложения коры выветривания	Щебнисто-дресвяно-глинистые отложения
2. Типовая геолого-металлогеническая и прогнозно-поисковая модели месторождения	Линейно-площадные коры выветривания по зонам прожилково-штокового оруденения среди вулканогенно-осадочных образований и даек диабазов	Линейные коры выветривания по зонам прожилково-штокового оруденения среди вулканогенно-осадочных образований и даек диабазов	Линейные коры выветривания (в том числе перестроенные в карсте) по зонам (телам) золотых кварц-сульфидной формации в экзоконтактах массивов гранитоидов	Линейные коры выветривания по зонам разломов в породах оруденения, кварцевых жил, кварц-турмалиновых метасоматитов	Линейные коры выветривания по зонам метасоматитов пропилит-брезитового ряда, локализованным в кулисообразных зонах разломов	Площадные коры выветривания мелнопалеогенового возраста по золотоносным полимиктовым конгломератам (нижняя юра)	Аллювиально-песчаные отложения речных систем (I-IV, V порядка), развивавшиеся по эродированным золотоносным лотоносным формациям	Элювиально-делювиальные отложения при водораздельных поверхностях и склонов	Техногенные образования по аллювиальному, элювиальному, россыпным
2.2. Прогнозно-поисковая модель	Формационно-петрологические: формация золотоносная	Литолого-стратиграфические: туфогенно-лимонитовая, каолинитовая	Структурно-литологические: гидрослюдистая, каолинитовая	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты	Литолого-стратиграфические: турмалиновые метасоматиты

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	носных каолинитов и лимонитов (мел-палеоген). Каолинитовая и каолинит-гидрослюдистая зоны коры выветривания. Структурные: линейные коры выветривания по зонам гипогенных рудоносных образований, рудных тел и вкрапленно-прожилковой минерализации. Метасоматические: образования коры выветривания каолинитового профиля по золотоносным метасоматам и вкрапленно-прожилковым рудам. Геохимические: контрастные ореолы Au, Sb, As, Cu, W. Минералогические: «коровые» руды - золото, гётит, гидротит, гидрослюда, каолинит, кварц. Золото пылевидное и тонкодисперсное, связанное с гидроокислами Fe и оксидами Sb, в небольшом количестве свободное более крупное, остаточное первичное и гипергенное вторичное. Металлогенические: <i>P</i> рудного	осадочные отложения (нижний кембрий), прорванные дайкой диоритов. Литолого-фациальные и стратиграфические: каолинит-вермикулит-гидрослюдистая кора выветривания Металлогенические: кварцевожильный штокерк на контакте туфогенно-осадочных пород и дайки долеритов по которым развита каолинит-вермикулит-гидрослюдистая кора выветривания. Минералогические: пирролизита, псиломена, медной зелени, халькозина, борнита, тонкого золота, а также его типоморфные признаки. Геоморфологические: поверхность уровня 400-800 м, карстовые формы рельефа. Геохимические: вторичные ореолы рассеяния Ag, As, Co, Mo, Au, реже Hg. Геофизические: гравитационные минимумы, продольная скорость сейсмоволн, низкие значения электросопротивления	лимитовая и лимонит-каолинитовая зоны коры выветривания. Магматические: формация гранодиоритовых батолитов (ольховский комплекс) и дайки диоритовых порфиритов. Метасоматические: по карбонатным породам - зоны мраморизации, окварцевания, гематитизации, графитизации и сульфидизации, по интрузивным породам - березитизация, сульфидизация. Минералогические: наличие лимонитов, пирролизита, псиломена, медной зелени, халькозина, борнита, тонкого золота, а также его типоморфные признаки.	терригенно-карбонатные породы (девон): кварц-серпичитовые, кварц-серпичит-хлоритовые сланцы. Литолого-фациальные и стратиграфические: каолинитовая кора выветривания по гидрослюдисто-каолинитовая корашающаяся толща: метасоматическая, обогащенная пирролизит-псиломелановыми образованиями ("черушки") (мел-палеоген). Металлогенические: золотоносные кварцевые и кварц-карбонатные жилы с сульфидами с кварц-турмалиновыми метасоматами. Морфоструктурные: линейно вытянутая впадина на оруденельских скалах, роговиках.	кварц-серпичит-хлоритовые сланцы (горболокская свита, рифей). Литолого-фациальные и стратиграфические: каолинитовые коры выветривания по золотоносным зонам метасоматическим: метасоматическим: пропилит-березитового ряда с кварцевыми жилами и зонами сульфидизации. Морфоструктурные: линейные коры выветривания по тектоническим и метасоматическим проработанным зонам. Минералогические: каолинитовые коры выветривания	ки, металевополимиты, филлиты, редко доломиты, известняки ждановской свиты (нижний протерозой). Литолого-фациальные и стратиграфические: каолинитовые коры выветривания по золотоносным конгломератам, гравелитам, песчанники кунарской свиты (нижняя юра) с наложенными корами выветривания каолинитового типа (палеоген) и прожилками их перекладками (современные аллювиальные россыпи). Металлогенические: золотокварцевая, прожилково-вкрапленная золото-кварц-сульфидная минерализация, ареалы золотоносных метасоматитов березовитового ряда, докембрийские золотоносные конгломераты; <i>P</i> рудного поля (запасы +ресурсы) 1-5 т/км². Морфоструктурные: Модинско-Эльгинская система мезозойско-кайнозойских грабен-депрессий, локализующая нижнеюрские золотоносные конгломераты. Минералогические: зоны каолинитовые			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	поля (запасы+ресурсы) ~100 т/км ² . Геофизические критерии: аномалии ΔZ (-20-+100), ρ_k - 250-1000 Ом•м					нитовых золотоносных кор выветривания по конгломератам кунарской свиты. Контрастные ореолы шихового золота (до 6 г/м ³), золото мелко-среднего класса, слабоокатанное, рудного облика, пробоность 900-920. Геофизические: аномалии низких значений электропроводности			
2.3. Примеры месторождений	Олимпиадинское, Самоновское, Боровинское (Енисейский край)	Уткинское (Салаир)	Ольховское (глинисто-лимонитовые «валунчатые» руды) (Енисейский край)	Мурзинское (СЗ Алта), Сейбинское (?) (Восточный Саян)	Зыряновское (Енисейский край), Моховое хр. Арга (Кузнецкий Алатау)	Унгинское (Таймыр)	Россыпи (Енисейский край, Восточный и Западный Саяны, Таймыр)	Ложковые россыпи, россыпи коры выветривания (Енисейский край, Восточный и Западный Саяны, Таймыр)	Техногенные россыпи (Енисейский край (рр. Енашино, Удереи, Вангаши), Восточный Саян (р. Чибикжак)
3. Геолого-металлогеническая характеристика закономерностей локализации формаций (региональная модель) 3.1. Тектонические комплексы	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на образование байкальского и карельского комплексов	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на образование каледонского комплекса	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на каледонский геосинклинальный (эвгеосинклинальный) комплекс	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на образование каледонского и герцинского комплексов	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на формацию байкальского комплекса	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на полимиктовые конгломераты (нижняя юра)	Альпийский платформенный комплекс (формация коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на формацию байкальского комплекса	Альпийские (верхний и нижний) комплексы – формации эмерсивного цикла (формация коры выветривания и продукты ее близкого переотложения)	Альпийские преобразованные техногенными процессами по добыче россыпного золота
3.2. Металлогенические комплексы (зоны)	Альпийский (нижний) металлогенический комплекс в парагенезе с золотоносными образованиями байкальского и карельского металлогенических комплексов Енисейской, Таймыро-Североземельской провинций	Альпийский металлогенический комплекс, наложенный на золотоносные образования каледонского комплекса Алтае-Саянской провинции	Альпийский металлогенический комплекс, наложенный на золотоносные образования каледонского комплекса Восточно-Саянской провинции	Альпийский металлогенический комплекс, наложенный на золотоносные образования каледонского и герцинского комплексов Алтае-Саянской провинции	Альпийский металлогенический комплекс, наложенный на золотоносные формации байкальского комплекса Енисейской и Кузнецко-Алатауской провинций	Альпийский металлогенический комплекс (коры выветривания, мел-палеоген), наложенный на полимиктовые металлоносные конгломераты (нижняя юра)	Альпийский металлогенический комплекс, наложенный на полимиктовые металлоносные конгломераты (нижняя юра)	Альпийские металлогенические комплексы (эмерсивная стадия) Енисейской, Восточно-Саянской, Таймыро-Североземельской провинций	Антропогенные (техногенные) металлоносные комплексы (эмерсивная стадия) Енисейской, Восточно-Саянской, Таймыро-Североземельской провинций

характерных месторождений (модель месторождения); 3) геолого-металлогеническая характеристика региональных закономерностей локализации формаций: тектонические и металлогенические комплексы — паргенезы вещественных и структурных ансамблей, контролирующие размещение золотоносных формаций (пояса, зоны, районы, узлы) — региональная модель.

Группа эндогенных золотоносных формаций. *Золото кварцевая формация* по минеральному составу руд относительно простая. В рудах доминирует кварц с подчиненными карбонатом, серицитом, пиритом, пирротинном, арсенопиритом. Золото в рудах свободное в кварце или сульфидах, обычно — высокопробное. Морфологически рудные тела представлены двумя разновидностями: жилы и линейные жильно-прожилковые штокверки существенно кварцевого состава и минерализованные зоны с вкрапленно-прожилковым оруденением. Вертикальный размах оруденения до 1500 м.

Вмещающие породы — тонкослоистые зеленые, серо-зеленые, серые, темно-серые, черные сланцы (филлиты), метаморфизованные в пределах зеленосланцевой фации регионального метаморфизма.

Локализация месторождений определяется системой локальных линейных и изоклинальных складок, осложненных зонами рассланцевания, контролирующих системы субсогласных и секущих кварцево-жильных зон и тел линзовидной и S-образной форм и сочетанием их разновидностей.

Рудные районы приурочены к фрагментам золото кварцевых поясов металлогенических провинций синклинного и антиклинного строения. Они контролируются полями флишевых и флишоидных формаций с широким развитием гранитоидного магматизма, но промышленное оруденение локализуется в зонах относительного удаления от тел гранитоидов, занимая фронтальные части гидротермально-металлогенических ареалов. Золото кварцевые пояса — характерный элемент металлогении золотоносных провинций: Енисейская (Енисейский золото кварцевый пояс) и Таймыро-Североземельская (Челюскинский золото кварцевый пояс) [13].

К главным геолого-металлогеническим особенностям золото кварцевой формации относятся:

устойчивые вещественно-морфологические характеристики оруденения: состав руд кварцевый с малым количеством сульфидов (до 3–5%), (протяженность рудных тел 1000–3500 м, мощность до 50–200 м, содержание золота 4–8 г/т, продуктивность P до 150 т/км²);

значительный вертикальный размах оруденения, достигающий 1,5 км и более;

приуроченность оруденения к флишевым (флишоидным) толщам байкальского металлогенического комплекса;

локализация оруденения в пределах протяженных (400–500 км) золото кварцевых поясов — крупных металлогенических единиц золотоносных провинций (Енисейская, Таймыро-Североземельская и др.);

размещение оруденения в полях зеленосланцевой, реже эпидот-амфиболитовой, фаций регионального метаморфизма.

Золото-сульфидная формация представлена двумя структурно-вещественными подтипами руд: прожилково-вкрапленный (состав пирит-пирротин-арсенопиритовый с антимонитом, тонким и дисперсным золотом) и прожилково-жильный (кварцсульфидные и сульфидные жилы, залежи, столбы — пирит-халькопирит-теннантит-халькозин — с мелким и тонким золотом). Морфологические типы рудных тел: седловидные и S-образные залежи, жилы, минерализованные зоны, линзо-столбообразные тела протяженностью до 1000 м, мощность от первых метров до 150 м. Вертикальный размах оруденения до 1500 м.

Вмещающие оруденение породы представлены: кварц-слюдистыми сланцами с гранатом, кварц-карбонат-слюдистыми сланцами с линзовидными телами мраморизованных известняков, кварц-слюдисто-углеродистыми сланцами (первый структурно-вещественный подтип) и карбонатными породами (мраморы), эффузивно-осадочными породами, гранодиоритами (второй структурно-вещественный подтип). Метаморфизм пород соответствует альбит-эпидот-роговиковой и роговообманково-роговиковой фациям.

Рудные тела локализуются в метасоматических ореолах седловидной, линзовидной и S-образной форм, в виде залежей и столбов, контролируемых сводовыми частями антиклиналей и синклиналей, как правило, «поперечных» по отношению к простираанию основных геологических структур рудного района.

В пределах района основные элементы структурного контроля руд определяются Z-образными структурными деформациями складчатых песчано-алевролит-сланцевых (флишоидных) толщ на фоне общего линейного стиля деформаций геологических тел в парагенезе с областями надинтрузивных и внутриинтрузивных зон крупных батолитов гранитоидного состава.

В региональном плане рудные поля и районы локализации месторождений золото-сульфидной формации приурочены к поясам ареалов гранитоидов байкальского (Енисейский край) и каледонского (Восточный Саян) металлогенических комплексов.

В пределах *Енисейской золотоносной провинции* региональной структурой, рудоконтролирующей золотосульфидную формацию, является Енашиминско-Чиримбинский золотосульфидный пояс, в котором наибольшие перспективы определяются пространственным сопряжением ареалов экзоконтактовых зон гранитоидных массивов, благоприятных литолого-стратиграфических признаков (флишоидная формация байкальского комплекса) и Z-образных или близких к ним структурных аномалий на фоне общего доминирующего структурного плана северо-западного направления (Олимпиадинское, Золотое, Михайловское, Ведугинское, Боголюбовское).

В *Восточно-Саянской золотоносной провинции* для локализации золотосульфидного оруденения благоприятны площади сопряжения эндо-экзоконтактовых ареалов Ольховского и Канзыбинского гранитоидных массивов и области их глубинного объедине-

ния с узлами сопряжения систем разломов в вулканогенно-карбонатных средах кембрийских толщ.

Главные геолого-металлогенические особенности золотосульфидной формации следующие:

существенно сульфидный состав руд: пирит-пирротин-арсенопирит с антимонитом, теннантитом и халькопиритом (вкрапленно-прожилковые, прожилково-массивные) с тонким и дисперсным золотом средней — высокой пробы;

параметрические характеристики рудных тел: протяженность до 400–1000 м, мощность 2–140 м, протяженность по падению 300–1500 м, C_{Au} — 4–10 г/т, P — $n \cdot 100$ т/км², вертикальный размах оруденения 300–1500 м;

литологический контроль оруденения песчано-алеврит-сланцевыми толщами флишовой формации байкалид и вулканогенно-карбонатными толщами каледонид;

локализация оруденения в пределах: — Енисейско-Чиримбинского пояса золотосульфидной минерализации в парагенезе с надинтрузивными зонами батолитов гранитоидного состава (татарско-аяхтинский комплекс) и Z-образными аномалиями структурного плана относительно общего простирания плана пояса (Енисейский кряж);

эндо-экзоконтактовые зоны Ольховского и Канзыбинского массивов гранодиоритов и других массивов ольховского комплекса (Восточный Саян);

размещение оруденения в полях средне-высокотемпературных роговиковых фаций контактового метаморфизма;

основные металлогенические зоны контролирующие размещение объектов золотосульфидной формации: Енашиминско-Чиримбинский пояс (Центральная металлогеническая зона Енисейской провинции), Сисимско-Казырская металлогеническая зона (Восточно-Саянская провинция) и Чукчинско-Челюскинская металлогеническая зона (Таймыро-Североземельская провинция).

Золотоплатино-медно-никелевая комплексная сульфидная формация представлена месторождениями вкрапленных, массивных, вкрапленно-прожилковых руд сложного состава: троилит, кубанит-халькопирит-пентландит-пирротин-платиноиды-золото (норильский тип).

Морфологические типы руды: «рудные горизонты», залежи, линзы протяженностью от сотен — до тысяч метров, мощностью от первых метров — до 100 м.

породы, вмещающие оруденение, представлены дифференцированными габбро-долеритами, терригенными (угленосными) и вулканогенными (туфолавовыми) образованиями, слагающими Норильскую и Хараелахскую трапповые мульды Тунгусской синеклизы.

Рудные тела локализованы в нижних и верхних частях дифференцированных габбро-долеритов (нижние и верхние такситы, контактовые габбро-долериты) и метаморфических и метасоматических породах экзоконтактов рудогенных интрузивов.

Локализация оруденения определяется комплексным (структурно-вещественным) парагенезом сформированным сочетанием центриклинальных замыканий трапповых

мульд с пучками рудоносных интрузий (норильский тип), локализованных в «горизонтах» внедрения, связанных с Норильско-Хараелахским разломом, на контакте (или вблизи него) терригенной тунгусской серии (средний карбон — верхняя пермь) и туфолоавовой толщи (триас).

В пределах северо-запада Сибирской платформы региональными рудоконтролирующими структурами являются трапповые мульды (триас) Норильская и Хараелахская, возможно, Вологочанская, а также западная и северная части Тунгусской синеклизы.

Главными геолого-металлогеническими особенностями золотоплатино-медно-никелевой комплексной сульфидной формации являются:

комплексный сульфидный состав руд с чрезвычайно высоким спектром цветных и благородных металлов (Au- Pt-Pd-Ru-Rh-Os-Ir-Cu-Ni-Co-Se и др.);

параметрические характеристики рудных тел: протяженность — первые сотни метров — первые километры, мощность — первые метры — десятки метров, вертикальный размах оруденения — первые сотни метров — до 1500 м; содержание Au — первые граммы на тонну, продуктивность — $n \cdot 100$ т/км²;

литолого-структурный контроль оруденения: парагенез дифференцированных габбро-долеритов в области контакта терригенных толщ тунгусской серии (C₂-P₂) и вулканогенных толщ (Т) в зоне влияния Норильско-Хараелахского глубинного разлома;

основные металлогенические зоны, контролирующие размещение оруденения — Норильская и Хараелахская.

Золотокварц-сульфидная формация занимает пограничное положение между золотокварцевой и золотосульфидной формациями, но в тоже время ее особенности строения достаточно индивидуализированы и своеобразны.

Минеральный состав руд относительно несложен: кварц, полевой шпат, кальцит, пирит, халькопирит, пирротин. Общее количество сульфидов обычно более 5–7% и достигает в отдельных случаях 15–25%. Золото обычно мелкое, реже среднее и мелкое. Пробность изменяется от 770 до 940. Вертикальный размах оруденения достигает 600 м.

Рудные тела представлены жилами и линзами, столбами вкрапленно-прожилковых руд относительно небольших параметров: протяженность по простиранию до 500 м, мощность — первые метры — первые десятки метров, протяженность по падению до 600 м, содержание золота относительно высокое — 10–15 г/т. Вмещающие породы, как правило, эндо- и экзоконтактовые зоны штоков и батолитов гранитоидов, гранодиоритов, нередко метасоматически преобразованные в породы лиственит-березитового ряда, часто также золотоносные. Локализация рудных тел и месторождений определяется системами локальных разрывных нарушений, развитых в полях эндо- и экзоконтактовых зон гранодиоритов.

Рудные районы приурочены к ареалам развития батолитов гранитоидов, локализованных в среде терригенных (флишеидных) и терригенно-карбонатно-вулканогенных формаций (Енисейский кряж, Восточный Саян).

Главные геолого-металлогенические особенности золотокварц-сульфидной формации следующие:

характерные вещественные и структурно-морфологические характеристики оруденения: состав руд кварц-сульфидный с количеством сульфидов обычно более 5–7 и до 25–35%, нередко в ареалах метасоматитов березит-лиственитового ряда;

параметрические характеристики оруденения: протяженность по простиранию и падению до 500–600 м, мощность рудных тел — до первых десятков метров, содержание золота — 10–15 /т, продуктивность — 10–100 т/км²;

связь оруденения с зонами эндо- и экзоконтактов штоков и батолитов гранитоидов, локализованных в карбонатных терригенно-карбонатно-вулканогенных породных ассоциациях (байкальский и каледонский тектонические комплексы); сопровождение рудных тел ареалами метасоматически измененных пород, в основном березит-пропилитового ряда;

размещение оруденения в полях высокотемпературных роговиковых фаций контактового метаморфизма или в полях диафторитов эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма.

Золотосеребряно-кварц-сульфидная формация имеет своеобразные особенности строения и вещественного состава, отличающие ее от других.

Прежде всего — это, как правило, маломощные (до 1–2 м), *L* до 1 км кварцевые жилы с полиметаллической сульфидной минерализацией (сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, арсенопирит, кубанит). Кварц составляет от 70 до 95% жильной массы, в малых количествах встречаются карбонаты (кальцит, сидерит), серицит, полевые шпаты, биотит, гранат. Содержание золота от 5 до 100 г/т. Вмещающие породы представлены гранатовыми и пироксеновыми плагиогнейсами и гранулитами, диафторированными до условий эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, слюдисто-амфибол-карбонат-полевошпатовые метасоматиты.

Выявлено что, золотосеребряно-кварц-сульфидная формация тесно ассоциирует с образованиями золотосульфидной формации, пока слабо изученной.

Основные рудообразующие структуры месторождений — поперечные (относительно общего структурного плана), линейные складки, осложненные зонами милонитов и диафторитов, оперяющих крупные зоны милонитов Приенисейского глубинного разлома. Вполне вероятно, что рудоносны главные зоны милонитов и диафторитов указанного глубинного разлома. Рудные узлы приурочены к осложненным фрагментам крупных зон милонитизации и диафтореза, развитым по глубокометаморфизованным комплексам архейского возраста.

К основным геолого-металлогеническими особенностями золотосеребряно-кварц-сульфидной формации относятся:

специфические вещественно-морфологические особенности оруденения: состав руд серебряно-золотой, кварц-сульфидный — сфалерит, галенит, пирит, халькопирит (количество сульфидов до 10–15%), протяженность жил до 1000 м и более, мощность до 1–2 м, содержание золота — 15–20 г/т, продуктивность до 20 т/км², вертикальный размах оруденения до 600 м;

оруденение локализовано в поперечных и продольных зонах диафторитов и милонитов Приенисейского разлома в среде архейских гранулитовых комплексов;

важная наметившаяся особенность — сопряжение проявлений золотосеребряно-кварц-сульфидной и золотосульфидной формаций (Богунайское, Кузеевское рудные поля).

Золото-кварц-сурьмяная формация выделяется в качестве самостоятельной, но связанной с золото-кварцевой. Такие связи установлены в пределах Васильевско-Удере́йской рудной зоны (Енисейский кряж) в целом и Удере́йского золотосурьмяного месторождения в частности.

Золото-кварц-антимонитовая минерализация связана с жилами и прожилками различной протяженности и мощности, часто ветвящимися, образующими линейные штокверки. Жилы и зоны штокверков в основном согласны складчатой структуре толщ. Вертикальная зональность оруденения определяется последовательной сменой (сверху вниз): сплошных антимонитовых жил вначале кварц-антимонитовыми, а затем антимонит-кварцевыми. Причем, содержание золота в них также закономерно увеличивается: 0,3–0,6 г/т (кварц-антимонитовые руды), 1,1–2,2 г/т (антимонит-кварцевые руды) и 4–5 г/т (кварцевые руды). Общее содержание сульфидов колеблется от 15% до сплошных сульфидных жил. Соответственно содержание золота составляет в кварц-антимонитовых рудах около 1 г/т повышаясь до 3–5 г/т в более сульфидизированных типах руд. Золото связано преимущественно с мелкоигльчатым арсенопиритом. Жилы и штокверковые зоны приурочены к зонам повышенной трещиноватости и расщепления пород в основном согласно строению вмещающих пород, реже они являются секущими. Часть жил подчиняется мелким складкам, имеет седловидную и корытообразную формы. Продуктивность рудного поля 10–30 т/км².

Рудные тела имеют протяженность по простиранию до 250 м, падению до 200 м, мощность до 30 м. По форме они представляют собой линзо- и столбообразные тела, штокверкообразные залежи. Вмещающие породы представлены темно-серыми филлитами, кварц-хлорит-серицитовыми, кварц-серицитовыми и хлорит-серицитовыми сланцами. Структурный контроль оруденения определяется зонами смятия, мелкой складчатости (зонами приадрного относительного растяжения в складках) в парагенезе с субсогласными разрывными нарушениями.

В региональном плане Удере́йское рудное поле (золото-кварц-сурьмяная формация) приурочено к Удере́йско-Васильевской складчато-разрывной зоне, локализующей зональную рудоносную систему, основными элементами которой являются месторождения (рудопроявления) золотокварцевой (Васильевское месторождение), золотокварц-

сульфидной (Бабушкина гора), золотокварц-сурьмяной (Центральный и Ново-Удере́йский участки) и антимонит-кварцевой (Центральный участок Удере́йского месторождения) формаций. Аномальное северо-восточное структурное простирание Удере́йско-Васильевской синклинальной зоны, относительно доминирующего субмеридионального — северо-западного, — одно из ведущих элементов, определяющих перспективы рудоносности зоны.

Особенности строения Васильевско-Удере́йской синклинальной зоны и закономерности размещения оруденения различных формационных типов позволяют прогнозировать новые перспективные золотоносные объекты в крыльях зоны и золотосурьмяные и сурьмяные — в ее приа́дерной части.

Золотортутная формация хорошо известна по данным зарубежных источников [14]. Растущее промышленное значение месторождения приобретают в последние десятилетия после доизучения и разведки старых золоторудных и ртутнорудных районов США и Канады. В России объекты такого типа пока слабо изучены. Характерные особенности месторождений золотортутной формации следующие: большие запасы руд с относительно невысокими содержаниями золота; крупные размеры и выдержанность рудных тел по простиранию и падению; равномерное распределение в рудах золота, связанного в сульфидах As, Sb или Hg, либо находящегося в свободном тонкодисперсном состоянии; корреляция Au с Hg, As, Sb, иногда с углеродистым веществом.

Золотортутные месторождения имеют близповерхностное происхождение из низкотемпературных гидротерм. Основные типы сопровождающих их метасоматических изменений — лиственитизация, окремнение, карбонатизация, доломитизация, опализация и аргиллизация вмещающих пород.

В объеме золотортутной формации выделяется пять минерально-геохимических типов: золотортутный лиственитовый, золотомышьяково-ртутный джаспероидный, золото-полисульфидно-ртутный мусковит-баритовый, золотомедно-ртутный аргиллизитовый и золотосурьмяно-ртутный гейзеритовый.

Месторождения золотортутной формации концентрируются в основном в пределах протяженных металлогенических зон или поясов, характеризующихся тремя типами геологических позиций: 1) приуроченные к поясам гипербазитов, 2) развитые в геосинклиналях и на сочленении их с кратонами, 3) связанные с вулканическими поясами.

В пределах Красноярского края наиболее вероятно ожидать обнаружение золотортутных месторождений в геологических обстановках второго типа (Таймыр, Енисейский кряж). Имеются также предпосылки для выявления оруденения в структурах первого и третьего типов — гипербазитовых и вулканических поясах (Восточный и Западный Саяны, Таннуо́ла).

Наиболее вероятный прототип месторождений золотортутной формации в Красноярском крае — месторождения и рудопроявления Таймыра (Убойнинское и Извилистое месторождения, рудопроявления р. Кы́йда), Енисейского кряжа (Большое и Угловое

рудопроявления, Каменская перспективная площадь) и возможно Терлигхайнского района (Тыва).

Наиболее изучен представитель золотортутной формации в крае — месторождение Извилистое, которое относится к Тарейскому рудному району. Оно приурочено к северо-западному крылу брахиантиклинали, вблизи ее юго-западного периклинального замыкания, осложненного разломами северо-восточного и северо-западного простирания.

По данным геологов «Красноярскгеолсъемки» (1983–1985) золотое оруденение локализовано в виде штокверкообразного рудного столба, имеющего сложную морфологию. Штокверк образован густой сетью трещин, выполненных пиритом, арсенопиритом, реальгаром, аурипигментом, антимонитом, киноварью и другими рудными минералами, а также кварц-кальцитовым материалом. Штокверк размером 600×250 м в плане эллипсовидной формы, вытянутой в широтном направлении. В его составе выделяются шесть рудоносных зон, приуроченных к крутопадающим линейным зонам интенсивного дробления и гидротермальных преобразований, которые сопровождаются дайками гранит-порфиров, лампрофиров. Отмечается отчетливый литолого-стратиграфический контроль оруденения, выраженный в его локализации среди алевроаргиллитов нижней пачки среднего ордовика.

Выявленная глубина развития оруденения составляет 80–100 м. Мощность рудоносных зон колеблется в пределах нескольких десятков метров, составляя в среднем 15 м. Мощность рудных тел (по содержанию золота 1 г/т) составляет 3,6–5,0 м. Среднее содержание золота изменяется от 1 до 30 г/т, максимальное — 42,5 г/т.

В Енисейской провинции золотортутная формация представлена проявлениями Угловое и Большое, расположенными в верховьях р. Тис. Проявление Угловое локализовано в рассланцованных черных глинистых сланцах шунтарской свиты, представлено зоной минерализации северо-западного простирания протяженностью 100 м, мощностью до 40 м. Зона сложена системой линзовидных прожилков кварца с вкрапленностью антимонита, бертьерита, джемсонита; содержание золота установлено 0,2–1,7 г/т.

Главные геолого-металлогенические особенности золото-ртутной формации следующие:

- существенно карбонат-кварц-арсенопирит-реальгар-аурипигмент-антимонит-киноварный состав руд с тонким и мелким золотом низкой пробыности;

- параметрические характеристики рудных тел: протяженность до 600 м, мощность до 50 м, вертикальный размах оруденения 100–300 м, содержание Au 2–9 г/т;

- литологический контроль оруденения пачками алевролитов (ордовик), черных сланцев (рифей);

- структурный контроль обусловлен зонами рассланцевания надвиговых зон или полями зон локальных складок;

- основные металлогенические элементы, контролирующие размещение объектов золотортутной формации — Тарейский рудный район и Северо-быррангская металлогеническая зона (Таймыр), Тисская и Чернореченская надвиговые зоны (Енисейский кряж).

В группе экзогенных золотоносных формаций выделяются две подгруппы: 1) формации золотоносных кор выветривания [12, 13]: золотоносных каолинитов и лимонитов, золотовермикулитовая; золотоносных бурых железняков, кварцевых и сульфидных сыпучек; золотоносная окисно-марганцевая; золотоносных кор выветривания по метасоматитам пропилит-березитового ряда, золотоносных каолинитовых «галечников и песков»; 2) формации золотоносных россыпей: аллювиальная (пойменные, террасовые), элювиальная (элювиальная, элювиально-делювиальная), техногенная.

Подгруппа формаций золотоносных кор выветривания. Формация золотоносных каолинитов и лимонитов представлена олимпиадинским и самсоновским типами. В Олимпиадинский тип входит одноименное месторождение, в котором совмещено гипогенное и гипергенное оруденение. Первичные руды сложены слюдисто-карбонат-кварцевыми, кварц-слюдисто-карбонатными и цоизит-кварц-слюдистыми метасоматитами, образовавшимися по кварц-карбонат-слюдистым и углеродистым кварц-слюдистым сланцам, известнякам [6]. Основу руд составляют карбонаты (кальцит, доломит), кварц и слюда (мусковит, серицит, биотит), углеродистое вещество. Рудные минералы представлены в основном арсенопиритом и пирротинном, в меньшей степени антимонитом, реже пиритом, бертьеритом, золотом. Руды имеют преимущественно полосчатую, сланцеватую, массивную, вкрапленно-полосчатую и другие текстуры. Большинство рудных минералов представлены неравномерной вкрапленностью мельчайших и мелких зерен и редкими прожилками с общим объемом сульфидов не более 3–5 % от массы руды.

Самородное золото — тонкое, тонкодисперсное. Золото встречается в виде единичных зерен или их групп. Форма зерен неправильная, реже пластинчатая, прожилковидная или в виде кристаллов.

Руды коры выветривания (коровые руды) приурочены к зонам тектонической проработки и достигают глубины 400 м от поверхности. Кора выветривания — рыхлая тонкозернистая глинисто-алевритовая с дресвой и щебнем пород. В пределах коры выветривания выделяются три зоны: начального разложения (щебнистые алевриты, содержащие до 70% обломков), выщелачивания и гидратации (пелитовая фракция, гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, содержание обломков до 40%), гидролиза (сульфиды полностью выщелочены, глинистые минералы, дресва кварца, лимониты).

Золото в рудах коры выветривания пылевидное, тонкодисперсное (размер золотинок 0,001–0,05 мм), большая его часть связана с гидроксидами железа. Золото в коровых рудах высокопробное.

Параметрические характеристики рудных тел коры выветривания: протяженность по простиранию до 1100 м, по падению до 400 м, мощность до 50 м, содержание Au 5–10 г/т (реже 20 г/т), продуктивность $n \cdot 100$ т.

Структурно-литологические особенности локализации золотоносных кор выветривания определяются парагенезом золотоносных вкрапленных и вкрапленно-прожилковых эндогенных руд, локализованных в замковых частях складок и разлом-

ных зонах, и наложенных на них кор выветривания. В процессе корообразования происходит увеличение содержаний золота относительно первичных руд в 2–2,5 раза.

Самсоновский тип представлен одноименным месторождением, локализованным в коре выветривания каолинитового и лимонит-каолинитового типа (мощность до 250–300 м), развитой над зонами золотосульфидной формации пенченгинского типа. Протяженность золотоносных рудных тел в корах выветривания достигает от первых метров и сотен метров до 1000–1500 м, при ширине от первых до десятков и первых сотен метров.

Структурно-литологическим особенностям локализации кор выветривания соответствуют участки контакта карбонатных и вулканогенных толщ, часто с горизонтами сульфидной минерализации и полями развития метасоматитов над которыми развиваются золотоносные коры выветривания.

Структурные, литологические и метасоматические эндогенные элементы являются определяющими для локализации золотоносных кор выветривания в поле развития рыхлых образований Мурожнинской и Индыглинской депрессий, расположенных в поле пород пенченгинской свиты (протерозой). Золото кор выветривания свободное, в основном дисперсное и мелкое, реже среднее по размеру частиц.

Параметрические характеристики оруденения: протяженность по простиранию 500–700 м и более, по падению — до 150–200 м, мощность до 50 м, содержание Au 4–6 г/т, продуктивность 1–5 т/км².

Наиболее перспективные на выявление золотоносных кор выветривания следующие участки: Западно-Герфедский, Больше-Мурожнинский, Богородский и Лево-Безымянский.

Золотовермикулитовая формация. Уткинский тип выделен по данным А.А. Потапова, Н.И. Овсянникова, Н.М. Кужельного с коллегами (1996). Формация представлена Уткинским комплексным золотовермикулитовым месторождением коры выветривания на Северо-Восточном Салаире.

Золоторудное прожилково-штокверковое оруденение развито в мощной (60 м) дайке диоритов и вмещающих породах висячего (26 м) и лежачего (14 м) контактов дайки, сложенных туфогенно-осадочными образованиями нижнего кембрия. Со стороны лежачего контакта к дайке примыкает крутопадающая тектоническая зона мощностью 2 м, пронизанная кварцево-жильным штокверком. По диоритам и вмещающим породам развита кора выветривания каолинит-вермикулит-гидрослюдистого состава. Содержание золота в глинистых породах висячего контакта дайки составляет 2–6 г/т, вермикулита 3–5 %, а в породах лежачего контакта дайки соответственно 1–2,5 г/т и 5–13 %.

В выветрелой дайке продукты выветривания распространены зонально. У висячего контакта на протяжении 13 м прослежена каолинитовая зона (Au 1,5–24,8 г/т, вермикулита до 13 %). По центральной части дайки (24 м) развита вермикулитовая зона (Au 1–4 г/т, вермикулита 40–50 %). В лежачем контакте (17 м) элювиальные глины гидрослюдистого состава (Au 1,5 г/т, вермикулита 8–10 %).

Распределение золота в выветрелой дайке диоритов сохраняет черты эндогенной зональности. Минимальные его концентрации отмечаются в лежащем боку дайки, насыщенном альбитом, а повышенные — в центральной части, и особенно в висячем, эндоконтакте, где альбит практически исчезает и появляются эпидот и цизит. Альбит-эпидот-хлоритовые пропилиты соответствуют подрудному интервалу, хлорит-карбонатные пропилиты с эпидотом собственно рудному. Среднее содержание по месторождению Au 3 г/т, по прогнозным ресурсам оно относится к средним. Среднее содержание вермикулита 20 %.

Параметрические характеристики оруденения: протяженность по простиранию до 500 м, мощность до 60 м, вертикальный размах до 200 м, содержание Au 2–24 г/т.

Главные геолого-металлогенические особенности оруденения следующие:

специфический гидрослюдисто-каолинит-вермикулитовый состав руд преимущественно с мелким и тонким золотом;

линейные каолинит-вермикулитовые зоны коры выветривания по эндогенным золоторудным кварц-сульфидно-прожилковым зонам.

Возможные аналоги данного типа могут быть выявлены в пределах Татарской рудной зоны (фосфат-ниобиевые и вермикулитовые руды), особенно в ее центральной и южной частях (бассейн р. Татарка).

Формация золотоносных бурых железняков, кварцевых и сульфидных «сыпучек», Ольховский тип представлен одноименным месторождением золото-кварц-сульфидной формации с развитыми по эндогенным рудам корами выветривания в которых преобладают бурые железняки, кварцевые и сульфидные сыпучки с промышленными концентрациями золота.

Месторождение находится в северо-западной части Ольховского гранитоидного массива в экзо- и эндоконтакте с кембрийскими эффузивно-осадочными отложениями осиновской и карбонатными породами чибихекской свиты. В карбонатных породах чибихекской свиты, в пределах узкой полосы эндоконтакта, локализуются сульфидные рудные тела, а в эффузивно-осадочных породах осиновской свиты и гранодиоритах — кварц-сульфидные жилы и зоны прожилкового окварцевания с сульфидами. Стратифицированные толщи смяты в антиклинальную складку и прорваны интрузией гранодиоритов, вытянутой вдоль контакта толщ. Вертикальный размах оруденения составляет 460–480 м.

На месторождении выявлено около 30 рудных тел, сгруппированных в два промышленных участка — Основное поле и Золотой конек. Рудные тела месторождения отличаются большим разнообразием и сложностью форм. Выделяются сульфидные жилы, линзы, штокверки, линзообразные залежи и другие сложные неправильные формы, для которых характерна невыдержанность элементов залегания и наличие ответвляющихся пережимов и раздувов. Форма рудных тел зависит от состава вмещающих пород: в силикатных породах образуются жилы простые и сложные, а также штокверки. В известняках тела в виде жилообразных, линзообразных и столбообразных залежей.

Основные промышленные участки Ольховского месторождения: собственно *Основное* рудное поле месторождения с рудными залежами преимущественно сульфидного состава в карбонатных породах и *Золотой Конек* — рудное поле сложено кварц-сульфидными и кварцевыми жилами в ороговикованных гранодиоритах. Рудные тела в Основном поле протяженностью (по падению и простиранию) 50–200 м (средняя 150 м), в рудном поле Золотого Конька протяженностью до 50 м по простиранию и 60–100 м по падению, мощность рудных тел в Основном поле 5–50 м (средняя 15 м), на Золотом Коньке 0,1–2,0 м. Типы природной руды: сульфидная, кварц-сульфидная и окисленная лимонито-глинистая (руда коры выветривания).

На месторождении развита зона окисления (кора выветривания) мощностью от 30 (на западе) до 180 м (на востоке). Выветрелые эродированные рудные тела перемещены по склонам в седловины, образуя золотосодержащие элювиально-делювиальные отложения. Нередко карстовые пустоты выполняются «рудными» глинами.

Окисленные руды, расположенные в коре выветривания, представлены линзо- и пластобразными залежами, состоящими из обломков лимонитов и кварца, сцементированных глинистым материалом. Среди них наиболее распространены две разновидности: лимонито-глинистые руды и кварцевые «сыпучки», состоящие из мелких зерен и бесформенных агрегатов кавернозного кварца и лимонито-глинистых руд на всех уровнях зоны окисления.

Самородное золото тонкое, распылено (до 230 г/т), распространение его крайне неравномерное. Форма золотинок неправильная, комковидная и проволочкообразная. Пробность золота 628–959.

Наиболее полно разрез коры выветривания (зоны окисления) сульфидных залежей охарактеризован в работе Д.А. Тимофеевского (1950). Полный разрез коры выветривания сульфидных руд Ольховского месторождения по данным этого исследователя выглядит следующим образом (снизу вверх):

- слабо обохренные сульфидные руды;

- сажистые руды, имеющие незначительную мощность, сложенные смесью полуокисленных сульфидов с черным рыхлым мельниковитом, землистым ковеллином, сульфатами железа и меди;

- кварцевые сыпучки мощностью около 1 м, состоящие из мелких обломков кварца и сформировавшиеся в результате полного выщелачивания металлических элементов и серы, входящих в первичные сульфидные руды;

- глинисто-лимонитовые и лимонитовые (бурожелезняковые) золотые руды, представленные рыхлыми землистыми скоплениями гидроксидов железа в глинистом материале;

- глинистые руды, представленные обломками различных пород, сцементированными песчано-глинистыми материалом красно-бурого или желтоватого цвета.

Глинистые руды расположены на глубине 7–12 м ниже покрывающих их элювиально-делювиальных отложений, нередко выполняют карстовые полости в известняках и установлены до глубины 70–110 м.

Наиболее бедные золотом — глинистые руды верхней части зоны окисления. Содержание золота в лимонитовых, сажистых рудах и кварцевых сыпучках значительно выше и составляет 20–25 г/т, что, как правило, в 1,5–2 раза больше чем в первичных рудах.

Несколько иной тип разреза соответствует коре химического выветривания над сульфидно-кварцевыми рудами (снизу вверх):

пески из гранитоидной дресвы с обломками кварца (до 20 м);

глины каолиновые желто-бурого цвета (первые метры);

суглинки с обломками известняков, роговиков и гранитоидов (до 7 м).

Золото, в основном, концентрируется в нижней части коры выветривания, где содержание его близко содержанию металла в первичных рудах.

Тесная связь золотоносных кор выветривания с коренными источниками дает основание считать, что они во многом наследуют критерии локализации, первичных руд месторождений Ольховско-Чибижекского рудного района. Важнейшие критерии выделения золотоносных участков кор выветривания — поля развития золотосульфидного и золотокварц-сульфидного оруденения на фоне литолого-стратиграфического и магматического контроля оруденения и особенно приуроченность их к бурожелезняковым образованиям в депрессионных структурах мезокайнозоя.

Золотоносная окисно-марганцевая формация. Мурзинский тип представлен одноименным месторождением золота в северо-западном Алтае [11]. Основываясь на данных исследователей работы [11] мы выделяем мурзинский тип золотомарганценозных кор выветривания, модель которого представлена далее. Мурзинское месторождение — прекрасный эталон, в котором отчетливо прослеживается связь золотомарганценозной коры выветривания и россыпей с коренными источниками.

Эндогенное золотое оруденение локализовано в терригенно-карбонатных породах девона. Оно представлено протяженными золотоносными кварцевыми и кварц-карбонатными жилами с переменным количеством сульфидов, локализованными в скарнах и роговиках. В мощных протяженных зонах кварц-турмалиновых метасоматитов отмечается содержание Au до 1–2 г/т. Золото содержится в кварцевых жилах и измененных породах. Содержания золота изменяются от следов до 230 г/т, реже до 1,5 кг/т. На глубину кварцевые руды сменяются прожилково-вкрапленной пирит-халькопиритовой минерализацией с содержанием Au 1–160 г/т. Золото развито в сульфиде в самородной форме. Вмещающие породы — интенсивно дробленные кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые и глинисто-хлоритовые сланцы, выветрелые до глинисто-дресвянистого и глинисто-щебнистого элювия. Отмечается прожилковое окварцевание, пятнами гематитизация, неравномерная сульфидная минерализация, прожилковая карбонатизация и хлоритизация.

Рудное месторождение сопровождается серией ложковых россыпей, из которых добывалось золото пробностью 850–900. В настоящее время на месторождении разрабатывается золотоносная гидрослюдисто-каолининовая кора выветривания, обогащенная пиролюзит-псиломелановыми линзообразными гнездами темно-серой и черной окраски, называемые старателями «чернушками».

Кора выветривания мел-палеогенового возраста прослежена вдоль субмеридиональной зоны разлома по простиранию на 1200 м в виде полосы шириной более 100 м и на глубину до 150–190 м. В современном рельефе кора выветривания слагает линейно вытянутую впадину, в бортах которой обнажены оруденелые скарны, роговики и кварцевые жилы.

Основные разновидности глинистого элювия представлены: смектит-каолининовыми (белые глины), гётит-каолининовыми (красноцветные глины) и псиломелан-каолининовыми (темно-серые глины или «чернушки») разновидностями.

Самородное золото от 1 до 1050 знаков ($0,1 \text{ мг/м}^3$ – $2,5 \text{ г/м}^3$) выявлено во всех типах пород и руд месторождения: скарны слабо выветрелые с халькопиритом (содержание Au 27–153 мг/м^3 , число золотин 120–300, элювий из окварцованной зоны (259 – 700 мг/м^3 , 310–1050 золотин), темно-серый неравномерно пропитанный марганцем элювий (7 – 384 мг/м^3 , 107–340 золотин), максимально марганценовый глинистый элювий (MnO до 9,5 %); ($2,5 \text{ г/т}$, 830 золотин), красноцветный глинистый элювий (5 – 136 мг/м^3 , 17–720 золотин), интенсивно осветленная до глини порода (19 мг/м^3 , 830 золотин).

В большей части пород золото класса $-0,25+0,1 \text{ мм}$ составляет 40–70 % по количеству и 50–90 % по массе. Самородное золото в коре выветривания представлено двумя типами: остаточным (эндогенным, реликтовым) и гипергенным (в виде фаз на реликтовых золотилах).

Исследование фазового состава показало, что к максимально марганценовому глинистому элювию приурочены наиболее высокие содержания золота, характеризующегося наибольшей крупностью, более высокой пробностью, наличием сростков золота с каолинитом, псиломеланом и пиролюзитом. Все это по данным указанных авторов отчетливо свидетельствует о гипергенном накоплении самородного золота в зоне влияния марганцевого барьера.

Формация золотоносных кор выветривания по метасоматитам пропилит-брезитового ряда. Зыряновский тип представлен одноименным рудопроявлением, локализованным в тектонически осложненном борту Зыряно-Рудиковской депрессии (Енисейский край). В толще сланцев горбилковской свиты вблизи границы ее с черносланцевой удерейской свитой выявлена система кулисообразно расположенных золотоносных зон северо-западного простирания в субсогласных зонах дробления, с наложенными на них линейными корами выветривания. Общая установленная протяженность золотоносной полосы 9,0 км при ширине 1,0–1,8 км. Золотоносные зоны в этой полосе имеют установленную протяженность 1,7 км при мощности в плане до 300 м. Всего установлено 3 таких зоны северо-западного простирания, две из которых оцени-

вались с бурением: Северная, Южная и Северо-Восточная. Рудные зоны локализованы в зонах дробления с флексурными изгибами складок и линейной корой выветривания.

Метасоматические процессы проявились в формировании пропилит-гумбеит-березитовых метасоматитов. Протяженность выявленной зоны метасоматических образований 5 км, ширина до 1 км.

Образования березитовой формации во внутренних зонах (ширина до 50 м) состоят из кварцитов, кварцево-жильных и кварцито-серицитовых метасоматитов, во внешней зоне — сланцев кварц-серицитового состава. Минеральный состав изменяется в зависимости от зоны: кварц 30–95 %, серицит 1–50 %, пирит 1–5 %, реже халькопирит, арсенопирит, малахит, карбонаты.

Образования пропилитовой формации также имеют две зоны. Внутренняя зона представлена кварц-ортоклаз-анкерит-хлоритовыми метасоматитами темно-зеленого цвета, сходными с гумбеитами. Породы образуют сложные ореолы, состоящие из тел мощностью 1–5 м, при ширине до 100–150 м, содержат кварцевые и ортоклаз-адуляровые жилы. Внешняя зона состоит из кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов, оконтуривающих березиты.

В Южной, Северной и Северо-Восточной зонах выявлены пересечения золото-вкрапленно-прожилковых руд, по которым развиты линейные золотоносные коры выветривания с содержанием золота первые граммы на тонну. Золотоносные коры выветривания представлены структурными гидрослюдисто-каолинитовыми глинами с щебнем сланцев и кварца. Мощность кор выветривания достигает 200 м и более.

Формация золотоносных каолинитовых «галечников и песков». Унгинский тип представлен одноименным месторождением. Месторождение сложено золотоносными слаболитифицированными конгломератами кунарской свиты (нижняя юра), по которым развита кора химического выветривания (палеоген). Разрез месторождения представлен (снизу-вверх): метапесчаники, метаалевролиты и филлиты с прослоями карбонатных пород (нижний протерозой), коры химического выветривания по породам нижнего протерозоя (глина с дресвой и щебнем сланцев и кварца, мощность до 20 м); кунарская свита: золотоносные глинистые отложения со слабоокатанными обломками кварца и щебнем пород протерозоя (мощность до 5 м), золотоносные гравийно-галечные образования с песчано-глинистым заполнителем (обломки: кварц, метапесчаники, березиты, мощность до 30 м), золотоносные валунно-гравийно-галечные кварцевые отложения с песчано-глинистым заполнителем (мощность 3–10 м), глины бурые и темно-серые, мощность до 23 м (Q_{III}–Q_{IV}).

Основная золотоносность локализована в нижнем горизонте, второстепенная — в верхнем, в основании нижеюрских конгломератов, преобразованных процессами палеогенового корообразования. Нижний золотоносный горизонт имеет протяженность 400–800 м, ширину 50–200 м, мощность 0,4–7,2 м, среднее содержание Au 0,2–10,3 г/м³.

Накопление золота обусловлено двумя основными процессами: первичным накоплением в нижнеюрских конгломератах и процессами формирования кор химического выветривания.

К основным факторам и критериям локализации оруденения относятся: минерагенические (золотоносность субстрата), литостратиграфические (золотоносность нижнеюрских конгломератов), морфоструктурные (накопление конгломератов в депрессиях), фактор гипергенеза (формирование коры химического выветривания и вторичного накопления золота).

Подгруппа формаций золотоносных россыпей. Формация аллювиальных россыпей. Доминирующий генетический тип россыпей на территории района — аллювиальный. По условиям формирования, отразившихся в морфологии россыпей и, естественно, в уровне их золотоносности, в этой группе выделяются долинные, русловые, террасовые россыпи, а также россыпи перераспределенной гидросети, погребенных врезанных меандр и др. Ведущая роль в золотороссыпном потенциале принадлежит долинным россыпям, однако подавляющая часть из них к настоящему времени подверглась неоднократной отработке и представляет, по существу, тип техногенных россыпей.

Как правило, это мелкозалегающие россыпи мощностью аллювия 3–6 м, реже до 8–10 м, локализацией продуктивного пласта (мощность 0,5–0,2 м) на спае аллювия с плотиком: реже линзовидные золотоносные пласты фиксируются на ложном плотике. Убогая золотоносность за счет мелкого и тонкого золота присуща всей массе руслового аллювия. Протяженность долинных россыпей может достигать десятки километров. Наиболее яркие представители долинного типа — россыпи рек Тея, Енашимо, Нойба, Вангаш, Еруда (Енисейский кряж), до сих пор обеспечивающие основное количество россыпного металла, и в первую очередь, добываемого дражным способом. Показательна в этом плане р. Енашимо, промышленно золотоносная на всем своем 120 км протяжении, вмещающая отдельные наиболее обогащенные металлом интервалы, рассматриваемые как самостоятельные россыпи и россыпепроявления, но представляющие, по сути дела, единую золотоносную систему, в которой долинные россыпи являются основным элементом.

Достаточно широко распространены среди аллювиальных золотороссыпных образований террасовые россыпи. Промышленные объекты развиты в основном на террасах высотой до 40 м. Протяженность террасовых россыпей достигает первых километров, но обычно составляет несколько сотен метров. Мощность золотоносного пласта, как правило, укладывается в пределы 0,5–2,0 м. В зависимости от морфологии золотоносных долин и истории их развития запасы металла в россыпях террас составляют 3–20% от общих запасов аллювиальных россыпей. Данный тип россыпей реализовался в долинах ведущих водотоков — по рекам Енашимо, Дюбокош, Дыдан, Калами, Вангаш, Чиримба, Панимба и др. Близки к охарактеризованному типу, установленному на отдельных участках долин, террасовальные россыпи, сформировавшиеся при разрушении террасовых россыпей под воздействием склоновых процессов.

На отрезке речной сети с отшнурованными врезанными меандрами выявляются соответствующие россыпи, погребенные, как правило, под склоновыми отложениями и не выраженные в рельефе. Им присуща хорошая сохранность аллювия и значительно большая протяженность по сравнению с террасовыми россыпями; распространены они ограниченно, их развитие установлено только в долине нижнего течения р. Енашимо. Столь же незначителен, выделяемый некоторыми специалистами, остаточнo-аллювиальный тип россыпей, представляющий фрагменты низких террас с практически полностью смытым аллювиальным покровом. Россыпи этого типа отмечены (и разрабатывались) в долинах рек Енашимо и Панимба.

Выделяемая в соответствии с разработками Н.А. Шилов группа русловых россыпей в классическом виде имеет место только в районах продолжающейся фазы глубинной эрозии, где наблюдаются все присущие этой группе морфологические разновидности: щеточные, русловые и косовые. Щеточные и русловые россыпи характеризуются весьма незначительной мощностью аллювия или полным его отсутствием, малыми масштабами распространения при мощности продуктивного пласта не более 0,5 м (нижнее течение р. Чиримбы); косовые известны по рекам Б. Питу, Вельмо и др. Они, как правило, развиваются в верхних горизонтах песчано-галечных островов и береговых кос. Мощность золотоносных отложений может достигать в них 1,2–1,5 м. Продуктивность россыпей данного типа от десятков килограммов до 50 т/км долины реки.

Формация элювиальных и элювиально-делювиальных россыпей. Элювиально-делювиальные образования этого типа известны на Енисейском кряже (россыпи ручьев Лево-Татьянинского, Дивизионного и др.), Восточного Саяна (бассейн р. Чибижек), Западного Саяна (р. Амыл).

На протяжении многих лет объектом пристального внимания как золотодобытчиков, так и специалистов в вопросах поисков, являются россыпи карстовых полостей, так называемых золотоносных «ям». Установлено, что они расположены в пределах пойм и террасовых площадок современных долин в днище ложковых россыпей, имеющих карбонатное ложе. Карстовые россыпи наиболее полно развиты в границах Дюбокошского грабена (Енисейский кряж) в полосе существенно карбонатных кембрийских пород, примыкающих к тектоническому контакту с протерозойскими отложениями. Они прослеживаются в основном вдоль северо-восточного борта грабена от верховий рек Чубкоша и Дыдан через нижнее течение ручья Огне и далее в систему р. Теи (ручьи Кузнецовский и Огневка). Локальные карстово-эрозионные западины выявлены в бассейне р. Нойбы (ручей Докторовский), и др. Как правило, долины рек с карстовыми россыпями ориентированы вкрест простираания грабена, а верховьями уходят в поле протерозойских пород, вмещающих золотое оруденение. Исключение в этом плане составляют долина ручья Докторовского и лога ручья Пьяного, полностью выработанные в нижнекембрийских породах. Морфология карстовых россыпей весьма сложная как в плане, так и в разрезе, глубина отдельных ям достигает 50 м. Они выполняются пестроокрашен-

ными осадками переотложенных кор выветривания, в которых большая часть принадлежит глинистой составляющей.

Ряд специалистов в той или иной степени отмечал пространственную (и генетическую) связь отложений, выполняющих карстовые полости с продуктами площадного и линейного корообразования. Однако единого, четко выраженного представления о механизме развития этих перспективных золотосодержащих объектов пока не разработано.

Проведенный анализ материалов позволяет нам сделать вывод о том, что карстовые россыпи в основном объеме представляют собой полигенный элювиально-остаточный генетический тип. С данным типом россыпей с самого начала развития золотодобычи связывается обнаружение и отработка концентраций металла, сосредоточенных в относительно локальных объемах. Содержание золота в них составляет от знаков до 400–900 мг/м³ и более. Примером такому типу россыпей может служить известная «Миллионная яма» на ручье Огне, золотоносные карстовые западины верховьев ручьев Пьяного, Николаевского (Енисейский кряж). Продуктивность россыпей 0,1–10 т/км².

Учитывая изложенное, представляется очевидной необходимость дальнейшего углубленного исследования проблемы золотоносных кор выветривания (остаточных и перемещенных), занимающих, по существу, промежуточное положение между собственно рудными и россыпными объектами.

Формация техногенных россыпей. В соответствии с классификацией Н.А. Шилов (1981), в регионе выделяются следующие типы техногенных россыпей: остаточные целиковые и отвалы, образованные мускульной и гидромеханической отработкой, и площади дражной отработки.

Остаточные целиковые россыпи включают бортовые, внутриконтурные и охранные целики, не разработанные полностью на глубину участки металлоносных плотиков. Концентрация золота в них значительно ниже, чем в отработанных ранее россыпях. Среди отвалов мускульной и гидромеханической отработки выделяются торфяные и галечно-эфельные, в распределении металла в которых не устанавливается какая-либо закономерность. Существенную часть пойм многих крупных долин занимают площади дражных отработок. Распределение золота в них носит случайный характер, а уровень золотоносности, как и для прочих техногенных россыпей, во многом определяется величиной первичной концентрации металла и уровнем эксплуатационных потерь, технологией предшествующей отработки.

Предложенная систематика золотоносных формаций охватывает широкий спектр промышленных месторождений и перспективных проявлений рудного и россыпного золота. Представляется, что основные результаты систематики будут иметь важное значение для прогнозирования, поисков и оценки металлогенического потенциала золота в рудных провинциях Сибири.

Список литературы

1. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. — М.: Научный мир, 2000.
2. Константинов Р.М. Формационный анализ рудных месторождений при металлогенических исследованиях / Металлогенический анализ рудоконтролирующих факторов в рудных районах. — М.: Недра, 1972.
3. Кривцов А.И. Формационные основы прикладной металлогении. // Тр. ЦНИГРИ, 1995. Вып. 197. С. 3–11.
4. Кузнецов В.А. Рудные формации // Геология и геофизика. 1972. № 6. С. 3–14.
5. Ли Л.В. Олимпиадинское золоторудное месторождение // Минеральные ресурсы Красноярского края. Красноярск, 2002. Кн.1. С. 420–437.
6. Основные типы рудных формаций: терминологический справочник / Под ред. Ю.А.Косыгина, Е.А.Кулиша. — М.: Наука, 1984.
7. Петровская Н.В. Самородное золото. — М., Наука, 1973.
8. Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений / Рудные формации эндогенных месторождений. Т. 2. — М.: Наука, 1976. С. 3–110.
9. Рожков И.С. Генетические типы месторождений золота и их положение в геотектонических структурах // Геология и геофизика. 1968. № 7. С. 3–19.
10. Росляков Н.А., Белеванцев В.И., Калинин Ю.А. Процессы накопления самородного золота в марганцевоносных корах выветривания // Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика. — Красноярск, 2001. С. 33–35.
11. Сердюк С.С. Проблемы золотоносных кор выветривания Сибири: геология, типы месторождений, перспективы развития сырьевой базы // Проблемы золотоносных кор выветривания Сибири. — Красноярск, 1998. С. 7–13.
12. Сердюк С.С. Минерально-сырьевая база золота Центральной Сибири: перспективы развития и освоения // Минеральные ресурсы Красноярского края. Кн. 1. Красноярск, 2002. С. 373–419.
13. Степанов В.А., Берзон Р.О. Никольская С.Б. Золоторудные месторождения мира. — М.: 1988.
14. Строна П.А. Главные типы рудных формаций. — Л.: Недра, 1978.
15. Фогельман Н.А., Константинов М.М., Курбанов Н.К. Принципы систематики золоторудных месторождений для прогноза и поисков // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 31–41.
16. Шер С.Д. Металлогения золота: Северная Америка, Австралия, Океания. — М.: Недра, 1972.; Евразия, Африка, Южная Америка. 1974.
17. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. — М.: Наука, 1981.
18. Шило Н.А., Сидоров А.А., Найбородин В.М., Гончаров В.И. Золоторудные формации Северо-Востока СССР / Докл. АН СССР. 1969. Т. 188. № 4. С. 901–904.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА МОЛИБДЕНОВЫХ, МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ И ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.Т.Покалов, В.И.Чердаков (ВИМС)

Общеизвестно, что месторождения молибдена, вольфрама и олова в земной коре пространственно и генетически связаны с гранитоидами. И те и другие являются продуктами процессов дифференциации земного вещества, но при этом наблюдается антагонизм месторождений молибдена и олова, в то время как вольфрам ассоциирует и с молибденом и с оловом. Как подтверждение сказанному приводим следующие примеры — оловорудные провинции и районы без концентраций молибдена: Приморская, Янская, Южно-Китайская, Северо-Вьетнамская, Боливийская и другие; молибденоносные без олова: Кордильеры Северной Америки, Анды (без Боливийского региона), Кавказ, Центральный Казахстан, Хакасия, Забайкалье (исключая юго-восточную часть), Становое поднятие и др. (рис. 1).

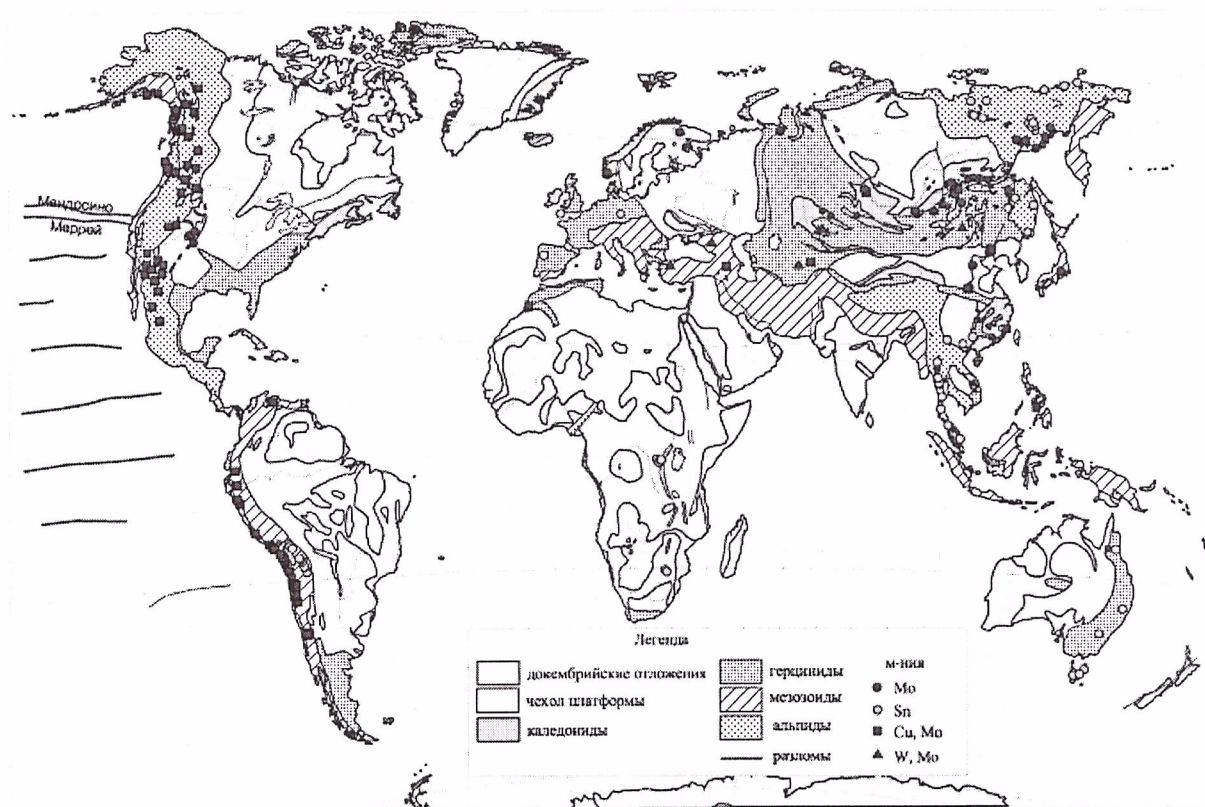


Рис. 1. Размещение молибденового и оловянного оруднения в структурах мира:

1 — докембрийские отложения; 2 — чехол платформы; 3 — каледонииды; 4 — герциниды; 5 — мезозоиды; 6 — альпиды; 7 — разломы месторождения: 8 — Mo, 9 — Sn, 10 — Cu, Mo, 11 — W, Mo

Возникает вопрос — почему разошлись месторождения молибдена и олова в земной коре. Ответ видится в следующем: магматизм, ответственный за образование месторождений молибдена, с одной стороны, и олова, с другой, развивался в частях коры, сло-

женных разными комплексами пород. В молибденоносных районах и провинциях преобладают породы магматического происхождения — различные гранитоиды и вулканы, а также метаморфические. В оловорудных преимущественно развиты осадочные образования, много терригенных — песчаники, алевролиты, аргиллиты, различные сланцы. Литологические колонки оловорудных районов Северо-Востока и Дальнего Востока России показывают, что чем больше мощности осадочных толщ, тем крупнее оловорудные месторождения, находящиеся в этих районах [1].

Названные различия в обстановках развития рудопроductive магматизма и обусловили формирование месторождений олова в Боливии и Юго-Восточном Забайкалье в отличие от широко проявленного молибденового и медно-молибденового оруденения в остальных частях Анд и Забайкалья, несмотря на одновозрастность рудопроductive магматизма.

По-видимому, рудопроductive расплавы в существенной степени формировались за счет названных пород, наследуя их особенности. Поэтому, естественно, что для оловорудных продуцентов характерны повышенная щелочность, калиевоcть и насыщенность летучими, прежде всего водой, бором и фтором, которые и определяют специфику растворов, выносящих олово к местам рудоотложения.

Молибденпроductive расплавы менее калиевые, менее щелочные, хотя и характеризуются несколько повышенной щелочностью; молибден выносился из расплавов в виде кремнекислотных соединений [5] вместе с реакционно активной серой. Здесь мало проявлены или совсем не проявлены летучие, характерные для оловорудных месторождений. Лишь на вольфрам-молибденовых месторождениях развит флюорит, образующийся после основного молибденового оруденения. С ним в парагенезисе находятся минералы вольфрама и бериллия.

Из приведенных формационных характеристик месторождений молибдена (см. таблицу) видны их геотектонические и магматические связи. Медно-молибденовые месторождения ассоциируют с монцонитоидами, диоритами, гранодиоритами, гранитами, т.е. это плутоны пестрого состава, (по В.А.Кузнецову 1972); собственно молибденовые — с умеренно кислыми гранитами и гранодиоритами; вольфрам-молибденовые — с лейкократовыми гранитами. Медно-молибденовые месторождения формировались в период эпигеосинклинального орогенеза, в основном в эвгеосинклинальных зонах; остальные связаны с эпиплатформенной орогеней.

Формационные и промышленные типы молибденовых месторождений

Рудные формации	Тектоническая обстановка	Связь с геологическими формациями	Промышленные типы месторождений	Примеры
Медно-молибденовые месторождения, иногда с сопутствующими Au, Ag, W, Pb и Zn	Эпигеосинклинальная орогенция, формирование геоантиклинальных поднятий, развитие продольных (согласных со складчатостью) и поперечных разломов	Апикальные части крупных плутонов, сложенных монцонитами, гранодиоритами, граносиенитами, гранитами, диоритами; экзо- и эндо-контактные зоны мощностью до 1000–1200 м	Штокверки, жилы, пласты, линзы, тела сложной формы (скарны). Трубки, линзы, зоны (брекчиевые руды)	Бингам (США), Чукикамата (Чили), Каджаран (Армения), Сорское (Россия), Медет (Болгария), Елаците (Болгария), Прохорово (Болгария)

Существенно молибденовые месторождения, часто с сопутствующими Cu, W, Pb и Zn, Au, Ag, Bi	Поднятия в областях эпи-платформенной орогении, развитие разноориентированных разрывных нарушений, в т. ч. в бортовых частях наложенных впадин	Апикальные части крупных плутонов, сложенных амфибол-биотитовыми гранитами и гранодиоритами, экзо- и эндоконтактные зоны мощностью до 700–800 м	Штокверки, жилы, пласты, линзы, тела сложной формы (скарны). Трубки, линзы, зоны (брекчиевые руды)	Юрэд-Гендерсон (США), Клаймакс (США), Квеста (США), Жирекен (Россия), Шахтама (Россия), Бугдая (Россия)
Вольфрам-молибденовые месторождения с сопутствующими Bi, иногда Sn, Au, Be, флюоритом	Структуры тектономагматической активизации, наложенные на области завершённой складчатости и платформ; мозаично-блоковая тектоника с образованием разноориентированных нарушений	Развитие вулканоплутонических ассоциаций корового происхождения; апикальные части плутонов, сложенных преимущественно лей-кократовыми гранитами; зоны экзоконтакта мощностью до 1000–1500 м, эндоконтакта — до 300–400 м	Штокверки, жилы, пласты, линзы, тела сложной формы (скарны, грейзены). Трубки, линзы, зоны (брекчиевые руды)	Тырныауз (Россия), Югодзырь (Монголия), Прекоп (Болгария)
Молибден-урановые месторождения с сопутствующими As, Pb, Zn, Au, Ti, Zr, Sb	Конечные стадии тектономагматической активизации областей завершённой складчатости и платформ, наложенные депрессионные структуры	Вулканические пояса, представленные контрастной базальт-риолитовой формацией при подчинённом развитии интрузивных образований	Штокверки (линейный и уплощённые). Жилы. Пластообразные залежи	Стрельцовское (Россия)

В контроле молибденоносных провинций и районов хорошо просматривается определяющая роль глобальных тектонических зон, трансформных разломов, линейментов, которые имеют преимущественно ортогональную ориентировку. Так, по западной окраине Американского континента от Арктики до Антарктики протягивается молодой орогенный пояс с медно-молибденовыми и молибденовыми месторождениями. Здесь необходимо обратить внимание на Северо-Американские Кордильеры (см. рис. 1). Как подчеркивают классики американской геологии У.Уайт, А.Дж Ирдли и Ф.Кинг, орогенный пояс Кордильер формировался в результате непрерывно-прерывистого орогенеза, начиная с юры на протяжении 200 млн. лет. При этом платформа разрасталась с востока на запад. В том же направлении смещались зоны магматизма и рудообразования. И если на востоке возраст месторождений определяется в 170–200 млн. лет, то по мере движения на запад он уменьшается и на самом западе в Каскадных горах и на островах определяется в 6–24 млн. лет.

Сегмент США отличается от этой картины. Там в ларамийское время орогенные процессы происходили не только в западных зонах, но охватили всю ширину Кордильер и затронули Западную окраину платформы. Именно здесь, в восточной ветви Скалистых гор, в поперечном порфиоровом поясе Колорадо образовались сверхкрупные молибденовые месторождения Гендерсон, Клаймакс, Квеста и др. Естественно встает вопрос — в чем причина этого? В ложе Тихого океана установлены зоны широтно ориентированных разломов Меррей и Мендосино, которые подходят к континенту и, весьма вероятно, их высокая активность в ларамийское время и была причиной, обусловившей отличие сегмента США от остальных частей Кордильер [2, 4]. Есть и еще пример — поперечная близмеридиональная зона Кавказа с медно-молибденовыми месторождениями (Каджаран, Агарак, Дастакерт,

Анкаван) и вольфрам-молибденовым (Тырныауз) при входе этой зоны в Скифскую платформу (рис. 2).

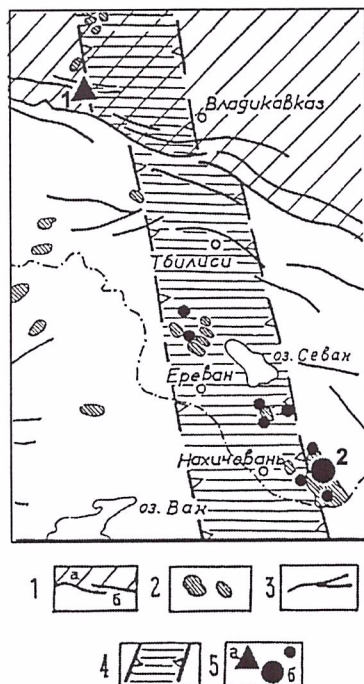


Рис. 2. Размещение вольфрам-молибденовых и медно-молибденовых месторождений в зоне Транскавказского линеймента:

1 — Скифская платформа (а), альпиды (б); 2 — кайнозойские граниты; 3 — региональные разломы; 4 — Транскавказский линеймент; 5 — вольфрам-молибденовое месторождение Тырныауз-1 (а), медно-молибденовое месторождение Каджаран-2 и рудопроявления (б)

Возраст всех названных месторождений находится в пределах 18–24 млн. лет. К Центральному Казахстану относится хорошо известная Успенская широтно ориентированная зона смятия глубинного заложения с крупными и сверхкрупными месторождениями — Коктенколь, Верхние Кайракты, Северный Катпар. В Забайкалье четко обозначился Оленёк-Ононский близмеридиональный линеймент — с Бугдай, Жирекен, Орекиткан (рис. 3). Восточнее расположено Становое поднятие — блок широтной ориентировки с многочисленными проявлениями молибдена по его южной и особенно северной окраине. Здесь же находится

месторождение Бадис прогнозные ресурсы которого порядка 500 тыс. т., что сопоставимо со сверхкрупными месторождениями Северной Америки и Казахстана.

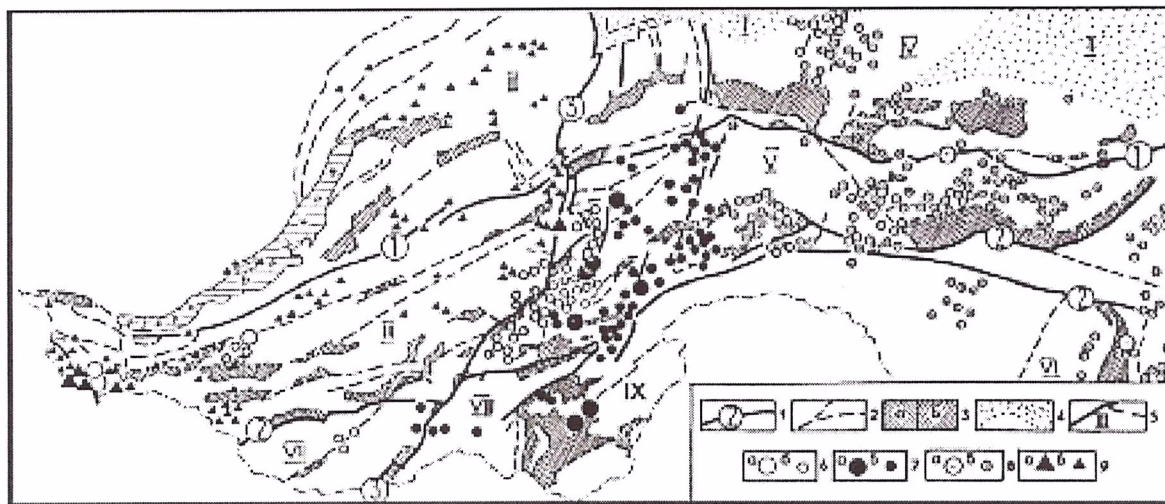


Рис. 3. Размещение молибденового оруденения в тектонических зонах Забайкалья Станового поднятия:

1 — крупные тектонические швы (цифры в кружках): 1 — Байкало-Становой, 2 — Монголо-Охотский, 3 — Оленёк-Ононский); 2 — крупные региональные разломы; 3 — впадины: (Байкальской рифтовой зоны, мезозойской активизации; 4 — чехол Сибирской платформы; 5 — структурно-формационные блоки (I — Сибирская платформа, II — Баргузино-Витимский массив, III — Селенгино-Яблоневый массив, IV — Алданский щит, V — Становая область, VI — Буреинский массив, VII — Даурский блок, VIII — Агинский блок, IX — Аргунский блок); месторождения (а) и рудопроявления (б) молибденовой рудной формации: 6 — позднепалеозойские; 7 — юрские; 8 — меловые; 9 — месторождения (а) и рудопроявления (б) вольфрам-молибденовой рудной формации юрского возраста

Месторождения молибдена всех трех формаций пространственно находятся в экзо- и эндоконтактах апикальных частей плутонов. Как правило, промышленные запасы месторождений можно ожидать с плутонами верхняя часть которых однокупольная. Плутоны с уплощенной верхней поверхностью, увенчанной многими куполами, месторождений обычно не несут, но при этом сопровождаются многочисленными незначительными по размерам рудопроявлениями. Масштабы месторождений во многом определяются глубиной залегания гранитного купола и степенью его эродированности (рис. 4).

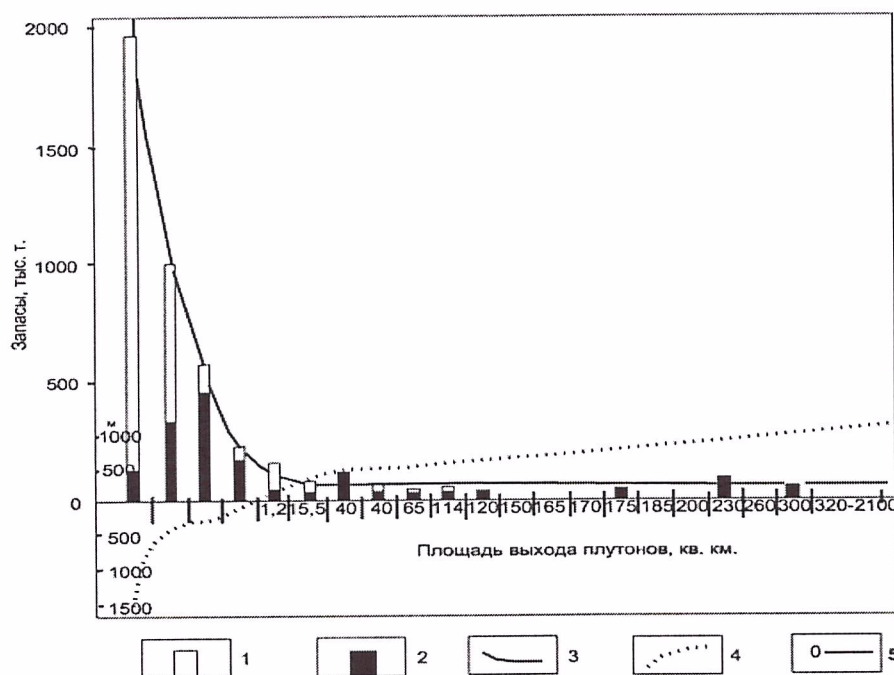


Рис. 4. График зависимости запасов вольфрама и молибдена от глубины залегания апикальных частей материнских плутонов и уровней их эрозионного среза:

запасы: 1 — вольфрама, 2 — молибдена; 3 — кривая изменения суммарных запасов вольфрама и молибдена; 4 — положение апикальных частей материнских плутонов по отношению к уровню современного эрозионного среза; 5 — уровень современного эрозионного среза

Наиболее крупные месторождения связаны с куполами, глубина залегания которых на 300–1500 м ниже дневной поверхности. Месторождения средних и небольших размеров можно наблюдать с плутонами, выведенными на поверхность на площади до 40 км². При более глубокой эродированности гранитных массивов месторождений обычно не бывает.

Далее рассмотрим две модели-разреза штокверковых месторождений. На них отражены устойчивые общие черты строения этих месторождений — пространственная связь оруденения с апикальными частями материнских гранитов, приуроченность к эндо- и экзоконтактовым зонам, наличие метасоматически измененных пород и их положение в пространстве — по отношению к гранитам и друг к другу, показана рудная зональность, приведены графики геофизических показателей по трем уровням среза — верхнему, среднему и нижнему [3].

Модель вольфрам-молибденовых месторождений. Наиболее крупное, компактное и концентрированное оруденение наблюдается над апикальной частью плутона простого однокупольного строения (рис. 5).

Сложная морфология этой части плутона (уплощенная с несколькими или многими куполами, хребтообразная с куполами разной величины или еще более сложная), не

1 — лейкократовые граниты; 2 — алюмосиликатные породы экзоконтакта; 3 — альбитизированные породы; 4 — биотитизированные породы экзоконтакта; 5 — рудоносный грейзен; 6 — брекчиевая трубка; 7 — дайки порфировых пород (а) и рудно-кварцевые жилы (б); 8 — ореолы минерализации

154

дений — свинцово-цинковая с висмутом и карбонатная. Таким образом, вольфрам, бериллий и флюорит распространяются дальше от источника оруденения, чем молибден. При этом молибден обычно пространственно теснее связан с апикальными частями гранитных плутонов, а вольфрам, бериллий и флюорит распространяются дальше в экзоконтактовую зону (месторождения: Джида, Коктенколь, Джанет и др.). Висмут, отлагавшийся в вольфрамовую и свинцово-цинковую стадии рудного процесса, распространен шире от нижних горизонтов до самых верхних. В скарновых и грейзеновых рудных телах вольфрам и молибден обычно пространственно совмещены. Вместе с тем от верхних горизонтов к нижним в шеелите нарастает содержание молибдена, а в корневых частях рудных тел преобладают шеелиты, богатые повеллитовой составляющей.

Модель молибденовых и медно-молибденовых месторождений. Эти месторождения, хотя и относятся к разным рудным формациям, однако имеют много общего в геологическом строении. Они ассоциируют с апикальными частями плутонов пестрого состава и плутонов умеренно кислых гранитоидов. Мощность оруденелых экзо- и эндоконтактовых зон может достигать 1000 м. Гранитоиды интенсивно калишпатизированы и окварцованы, в их экзоконтактах и центральных частях месторождений породы окварцованы и широко, но слабо серицитизированы, еще шире и выше распространены аргиллизация и пропилитизация (рис. 6).

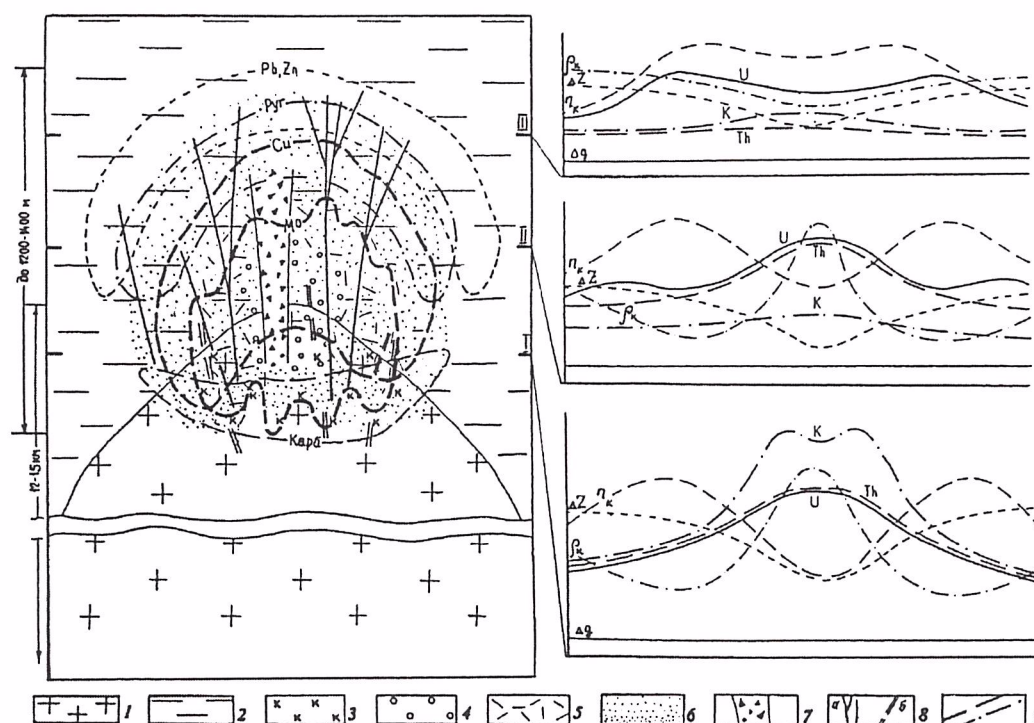


Рис. 6. Модель-разрез штокверковых месторождений медно-молибденовой и молибденовой формаций (а) и графики физических полей по уровням среза I—III (б):

1 — средне- и умеренно кислые гранитоиды; 2 — алюмосиликатные породы экзоконтакта; 3 — калишпатизированные гранитоиды; 4 — окварцованные породы; 5 — серицитизированные породы; 6 — аргиллизированные и во внешних зонах пропилитизированные породы; 7 — брекчиевая трубка; 8 — дайки порфировых пород (а), рудные жилы (б); 9 — ореолы минерализации

Рудная зональность проявляется следующим образом: в центральных частях месторождений развита молибденовая минерализация, значительно шире и выше с наложением на нее распространяется медное оруденение, которое по периферии сменяется интенсивной пиритизацией пород, далее, охватывая пиритизированные породы, часто с пространственным отрывом от медной минерализации (особенно на медно-молибденовых месторождениях), находится золотосеребро-свинцово-цинковое оруденение, для корневых частей месторождений характерно повышенное содержание карбонатов.

В рассматриваемых месторождениях отношение содержаний молибдена к содержаниям меди обычно возрастает с глубиной и уменьшается по направлению к флангам. Вместе с тем на примере месторождений Хакасии (Агаскырское, Сорское, Ничкурюпское) установлено, что на самых нижних горизонтах и в корневых частях месторождений значение указанного отношения начинает убывать, что обусловлено более резким снижением содержания молибдена по сравнению с содержанием меди. Иногда, например на Каджаранском месторождении (Армения), зональность в размещении молибдена и меди имеет одностороннюю направленность, в данном случае по отношению к Дабаклинскому разлому, висячем крыле которого расположено оруденение, отношение молибдена к меди убывает с удалением от разлома.

В тех месторождениях, где в рудах резко преобладает медь, а молибден находится в низких концентрациях, определенно выраженной зональности в распределении этих элементов не прослеживаются, например, на месторождении Коунрад (Казахстан).

Вольфрам мало характерен для медно-молибденовых месторождений, и все же его несколько повышенные (против фона) содержания отмечаются на верхних горизонтах. На месторождениях молибденовой формации он нередко присутствует как сопутствующий компонент, тяготея к верхним горизонтам и фланговым частям, при этом может наблюдаться прямая ранговая корреляция между вольфрамом и молибденом.

Выполненные геологические построения позволяют путем сравнения с ними вновь найденного рудного объекта определить масштабность, уровень эрозионного среза, перспективы на глубину, формационный тип и возможную комплексность оруденения. Однако сразу же встает вопрос его прогнозной оценки, как подсчитать прогнозные ресурсы?

Оценка может быть произведена по верхней части зоны окисления и вторичным ореолам в рыхлых отложениях. По этому поводу было много публикаций. Для молибденовых месторождений такая операция осложняется тем, что молибден выносится и из зоны окисления, и из рыхлых отложений, а степень его выноса зависит от состава первичных руд, степени их окисления, климатических условий, мощности рыхлых отложений [4].

При оценке необходимо учитывать конъюнктуру рынка. Следует выбрать месторождение-аналог с минимальными содержаниями, позволяющими его рентабельно отрабатывать; надо знать бортовое содержание, при котором подсчитывались запасы этого

месторождения-аналога. И далее, исходя из соотношений содержаний молибдена в коренных рудах, зоне окисления и (или) в рыхлых отложениях оцениваемого объекта, определить изоконцентрату молибдена на литохимической карте, которая отвечала бы бортовому содержанию в первичных рудах (рис. 7). Потом внутри этой изоконцентраты вычислить среднее содержание для первичных руд и запасы в метровом слое, а затем подсчитать ресурсы на оптимальную глубину; ею может быть вертикальный размах построенной прогнозной модели месторождения. При поисково-оценочных работах масштаба 1:10 000 — это вполне решаемая задача и получаются прогнозные ресурсы категории P_1 .

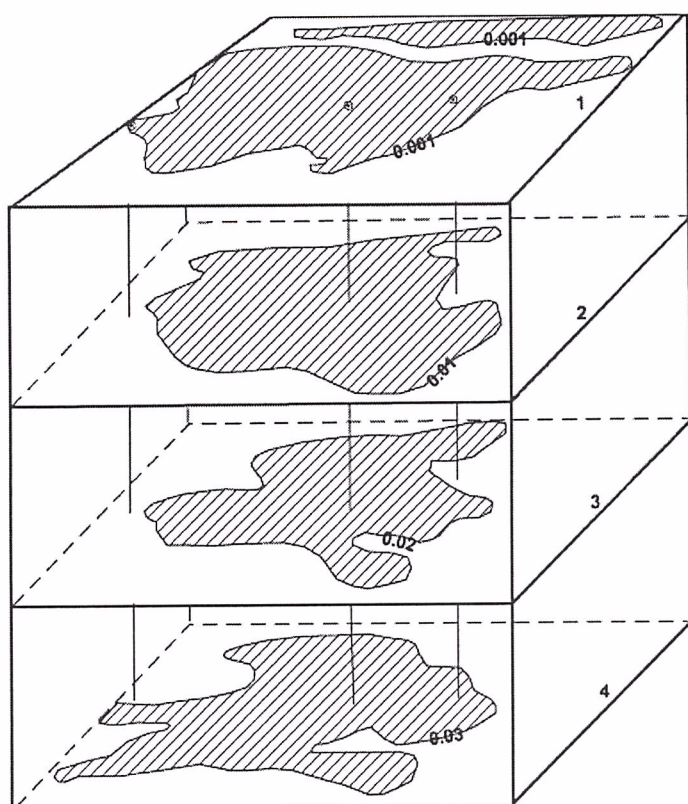


Рис. 7. Отражение и изменение бортового содержания молибдена в зоне окисления и элювии на месторождении Центрального Казахстана:

1 — в плаще рыхлых отложений; 2 — в приповерхностной части зоны окисления коренного оруденения; 3 — в зоне окисления в целом; 4 — неокисленные руды

Список литературы.

1. Павловский А.Б., Митрофанов Н.П., Бурова Т.А. Источники и рудноформационные особенности крупных месторождений и высококачественных руд. // Отечественная геология. 1998. № 4. С. 21–27.
2. Покалов В.Т. Главные факторы, обуславливающие минерагенический профиль геологических провинций. // Отечественная геология. 1998. № 4. С. 5–12.
3. Покалов В.Т. Рудномагматические системы гидротермальных месторождений. — М.: Недра 1992.
4. Покалов В.Т. Геологические основы поисков и оценки эндогенных месторождений молибдена. — М.: Недра, 1983.
5. Isuk E. and Carman G. The system $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 - \text{K}_2\text{Si}_2\text{O}_5 - \text{MoS}_2 - \text{H}_2\text{O}$ with implication for molybdenum transport in silicate melts // Econ. Geol/. 1981. Vol. 76. № 8. P. 2222–2235.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТАНТАЛОВЫХ И ТАНТАЛ-НИОБИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ОБОБЩЕННЫХ ПОИСКОВО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В.В. Архангельская, В.В.Рябцев, Т.Н.Шурига (ВИМС)

Танталовые и тантал-ниобиевые месторождения традиционно объединяются в одну группу. В танталовых месторождениях $Ta/Nb > 4$, в тантал-ниобиевых — от 1:5 до 1:20 и более [5]. Ведущий классификационный признак для месторождений группы — формационный тип рудогенерирующих материнских пород.

Танталовые месторождения представлены пегматитовым и лейкогранитным типами и относятся к формации щелочноземельных гранитов, причем месторождения в лейкогранитах связаны с поздними производными этой формации. Танталовые пегматитовые месторождения раннепротерозойские и фанерозойские (в основном герцинские и киммерийские), более крупные и богатые раннепротерозойские. Танталовые месторождения в лейкогранитах фанерозойские, для них характерны метасоматически измененные разности таких гранитов.

Тантал-ниобиевые месторождения локализуются в щелочных гранитах, гранитоподобных метасоматитах и нефелиновых сиенитах. Эти месторождения в щелочных гранитах на территории России позднепалеозойские и мезозойские, в гранитоподобных щелочных метасоматитах раннепротерозойские, раннепалеозойские и в зависимости от состава субстрата, по которому развиваются, подразделяются на гранитогенные и метаморфогенные. Тантал-ниобиевые месторождения в нефелиновых сиенитах представлены единственным в мире позднепалеозойским давно освоенным Ловозерским месторождением.

Среди танталовых наиболее важное промышленное значение за рубежом имеют пегматитовые месторождения. В России их отработка подготавливается (Вишняковское). Отдельные танталовые месторождения в лейкогранитах России эксплуатируются (Орловское), некоторые (Этыкинское) подготавливаются к освоению. Наиболее крупные тантал-ниобиевые месторождения в щелочных гранитах и гранитоподобных щелочных метасоматитах подготавливаются к освоению (Зашихинское, Катугинское). Основную часть добычи тантала и ниобия в России обеспечивает Ловозерское месторождение [5].

В региональном плане все танталовые и тантал-ниобиевые месторождения расположены в единых редкометалльных провинциях. Прогнозно-геологическая модель редкометалльной провинции характеризуется следующими особенностями (рис. 1).

Региональные тектонические структуры, в которых локализуются месторождения, представляют собой палеорифтовые системы и их гомологи в глубоком докембрии (зеленокаменные пояса и трогии), возникающие при деструкции и последующем растяжении коры Земли в процессе тектоно-магматической активизации или рифтогенной реювенилизации.

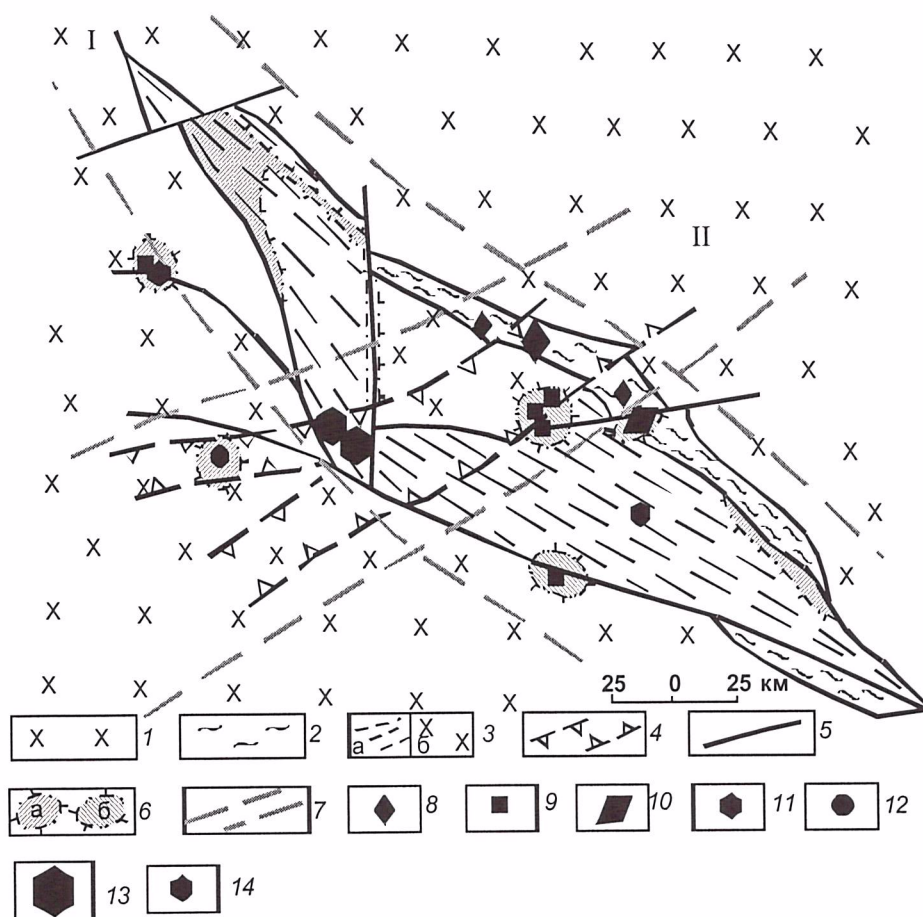


Рис. 1. Модель редкометалльной структурно-металлогенической зоны полициклического развития. По А.Д.Щеглову и др., 1993, с добавлениями:

1 — раннеархейский фундамент; 2 — позднеархейский зеленокаменный пояс; 3 — позднеархейско-раннепротерозойская проторифтовая система: а — грабен-трог, унаследовавший зеленокаменный пояс, б — горст, сложенный породами фундамента; 4 — палеозойская рифтовая система (границы грабенов, эродированных до их днщ); 5 — главнейшие разрывы; 6 — поля геофизических аномалий: а — магнитных, б — радиометрических, бергштрихи направлены в стороны понижения значений аномалий; 7 — границы планетарных линеаментов: I — северо-западный, II — субмеридиональный; месторождения тантала и ниобия: 8 — пегматитовые позднеархейские литиеносные с попутным танталом, 9 — щелочно-гранитные раннепротерозойские тантал-ниобий-редкоземельно-циркониевые, 10 — щелочно-метаморфогенные тантал-ниобий-редкоземельно-циркониевые позднеархейско-раннепротерозойские, 11 — нефелин-сиенитовые среднепалеозойские тантал-ниобий-редкоземельно-циркониевые, 12 — карбонатитовые ниобиевые раннепалеозойские; размеры месторождений: 13 — крупные и уникальные, 14 — прочие

С палеорифтовыми системами пространственно совпадают щелочные провинции [3]. Системы состоят из горстов и грабенов, возникают в эпиплатформенных условиях на щитах платформ, рединных массивах и участках ранней консолидации складчатых поясов [1–4]. Месторождения одной системы одновозрастны и генетически однотипны, однако в случае телескопирования систем месторождения в них оказываются полигенными и полихронными. Танталовые пегматитовые месторождения и тантал-ниобиевые месторождения в гранитоподобных метасоматитах и нефелиновых сиенитах расположены в грабенах (зеленокаменных поясах, трогах) рифтовых систем, а месторождения, генетически связанные с гранитоидами (танталовые

в лейкогранитах, тантал-ниобиевые в щелочных гранитах), — в горстах этих систем. В палеорифтовых системах локализуются также массивы ультраосновных — щелочных пород, включающих месторождения ниобия, циркония, фосфора и редких земель в карбонатитах.

Поля танталоносных пегматитов и их месторождения ассоциируют со сподуменовыми, бериллиеносными и безрудными пегматитами, образуя единые пегматитовые провинции. Месторождения тантала в лейкогранитах наблюдаются в Sn-W, Sn-Mo-W металлогенических провинциях, вписывающихся в фанерозойские зоны тектономагматической активизации, инициирующие рифтообразование.

Все танталовые и тантал-ниобиевые месторождения локализуются в разрывах (и в узлах их пересечений), формирующих и осложняющих рифтовые системы, и возникают в завершающие этапы развития этих систем. Разрывы составляющие планетарных зон высокой трещиноватости — линеаментов, в которые нередко целиком вписываются рифтовые системы.

Локальные поисково-прогнозные признаки и критерии танталовых и тантал-ниобиевых месторождений устанавливаются на основе их прогнозно-геологических моделей. Главные из этих признаков литологические, минерально-геохимические и геофизические, которые могут проявляться на конкретных локальных площадях известных или потенциальных редкометалльных провинций. Проявленность этих рисунков зависит от ряда факторов и, прежде всего, от глубины эрозионного среза месторождений.

К литологическим признакам относится своеобразие рудных и рудоносных пород; минерально-геохимическим — минеральный и химический составы руд, наличие над рудами комплекса геохимических ореолов, специфических для каждого типа месторождений, а вокруг руд — наличие шлиховых ореолов рудных и сопутствующих минералов; геофизическим — радиоактивные и магнитные аномалии. Роль этих особенностей на ранних стадиях поисков месторождений неодинакова. В частности, для тантал-ниобиевых месторождений в щелочных гранитах и метаморфогенных щелочных метасоматитах наиболее информативны аэро- и наземные существенно ториевые радиоаномалии определенной величины.

Прогнозно-геологическая модель танталового пегматитового месторождения представлена (рис. 2) серией поэтажно расположенных пегматитовых жил, залегающих в осадочно-вулканогенных породах.

В модели выделяются следующие главные элементы: породы фундамента региона, породы «рамы» — вулканогенно-осадочные рифтогенного трогового комплекса, вмещающие пегматиты; массивы рудогенерирующих гранитов; серии жил пегматитов с танталовым и литий-танталовым оруденением; находящиеся ближе к «материнскому» гранитному массиву серии жил литиевых (альбит-сподуменовых) и керамических (кварц-микроклиновых) пегматитов.

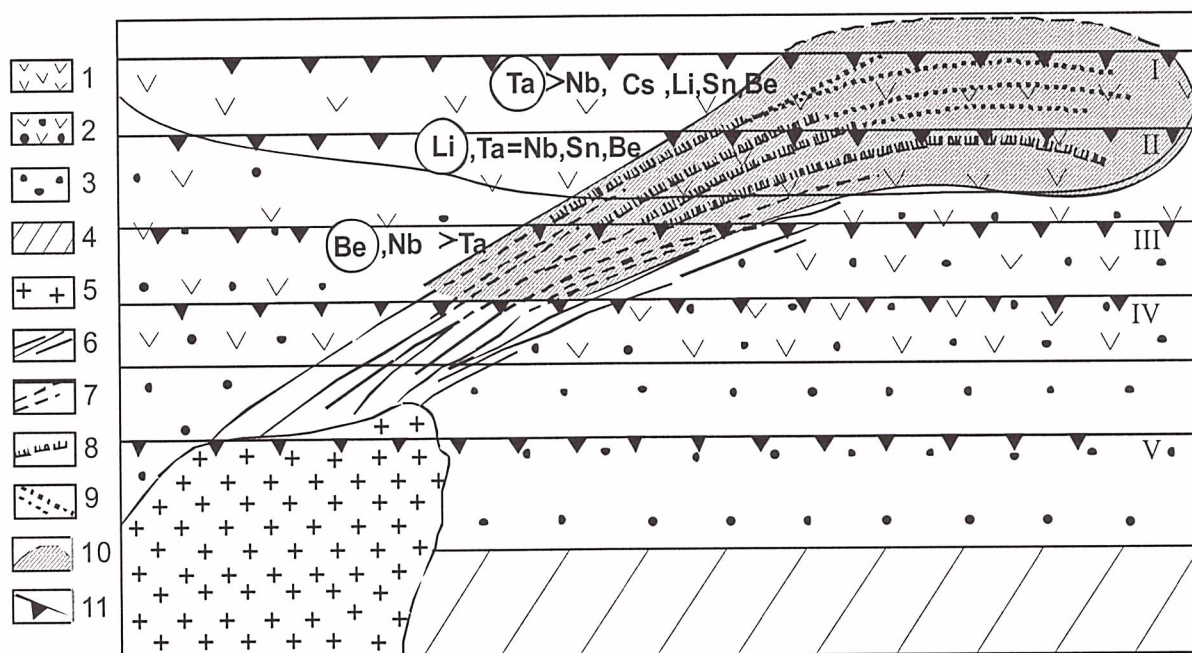


Рис. 2. Вертикальный разрез прогнозно-геологической модели пегматитового рудного поля: породы трогового комплекса: 1 — вулканогенные, 2 — вулканогенно-терригенные, 3 — терригенные, 4 — породы фундамента; 5 — рудогенерирующие граниты; жилы пегматитов 6 — керамические, 7 — берилл-микроклиновые, 8 — сподуменовые, 9 — танталовые; 10 — геохимические ореолы; 11 — варианты положения эрозионного среза (I–V), индекс в кружке — главный рудный компонент

Пространственная связь танталоносных пегматитов с рудогенерирующими гранитами проявляется редко: такие пегматиты удалены от массивов пегматитоносных гранитов на расстояние нескольких километров. Породы «рамы», в которых они залегают, относятся к верхним горизонтам трогового комплекса. У наиболее продуктивных докембрийских танталовых пегматитовых месторождений они метаморфизованы в андалузит-силлиманитовой фации и нередко прослоены ортоамфиболитами. Присутствие амфиболитов указывает на высокую продуктивность пересекающих их пегматитовых жил. Рудное пространство танталовых месторождений включает серию полого падающих танталоносных пегматитовых жил зонального строения с узкими (до 1 м) оторочками цезийсодержащих слюдитов. Над жилами и слюдитами наблюдаются литогеохимические аномалии Li, Rb, Cs, Be, B, F; от верхних танталоносных жил к нижним снижаются содержания Ta (в связи с чем Ta/Nb падает от 3:1 до 1:2), Rb, и увеличиваются Li; в рудных телах верхних жил танталониобаты более разнообразны (танталит, микролит, воджинит, иксиолит). Подрудное пространство представлено серией альбит-сподуменовых, альбит-микроклиновых с бериллом и микроклиновых жил, залегающих в нижних горизонтах трогового комплекса. Такая вертикальная зональность должна учитываться при определении уровня эрозионного среза всей жильной серии в целом.

Верхний эрозионный срез обнажает танталоносные жилы поля. Прямыми признаками наличия месторождения в этом случае являются: специфический минеральный состав жил, высокое Ta/Nb в них, литогеохимические ореолы Li, Be, Rb, Cs, B, F и другие особенности, характеризующие месторождение. На более глубоком срезе обнажаются

жилы литий-танталовых (сподуменовых) пегматитов. Два подрудных варианта эрозийного среза соответствуют пегматитовым полям безрудных жильных серий альбит-микроклинового и микроклинового типов.

Модели танталового месторождения в щелочноземельных лейкогранитах и тантал-ниобиевого в щелочных гранитах включают следующие главные геологические элементы (рис. 3): рудогенерирующий интрузив, вмещающие его породы, его экзоконтактовую зону, рудоносные метасоматиты, располагающиеся в апикальной части интрузива конформно его верхнему контакту, подрудное пространство.

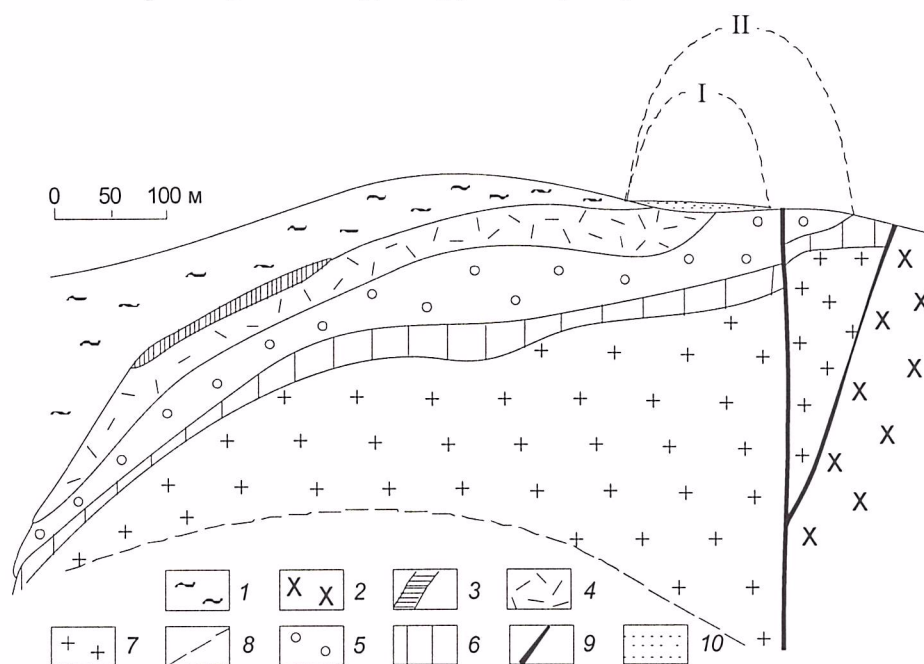


Рис. 3. Прогнозно-геологическая модель танталового месторождения щелочно-земельно-гранитно-метасоматитового типа:

части модели: *фланговая*: 1 — терригенные породы, вмещающие рудогенерирующий гранитный интрузив, 2 — щелочно-земельные граниты ранней фазы интрузива, 3 — грейзены; *рудная*: 4 — лепидолит-микроклин-альбитовые руды (собственно месторождение), 5 — бедные (непромышленные) лепидолит-амазонит-альбитовые и мусковит-циннвальдит-микроклин-альбитовые руды, 6 — бедные (непромышленные) мусковит-микроклин-альбитовые руды с горошковидным кварцем; *подрудная*: 7 — биотитовые мусковитизированные граниты, 8 — предполагаемый контур подошвы гарполита; 9 — разрывы, 10 — аллювиальная касситерит-колумбитовая россыпь; *ореолы*: I — геохимический (Ta, Nb, Rb, Cs, Zr, F, W, Be), II — механический (колумбит, циркон, касситерит, не всегда вольфрамит)

Вмещающие образования обычно представлены осадочными и вулканогенно-осадочными сравнительно слабометаморфизованными породами, а также магматическими породами различной основности, предшествовавшими возникновению интрузива.

Интрузив сформирован в эпиплатформенный период развития региона, имеет штокообразную, гарполитовую, лакколитовую формы и зональное строение. Его глубинные части представлены биотитовыми щелочноземельными гранитами у танталовых месторождений и рибекитовыми и рибекит-эгириновыми щелочными гранитами у тантал-ниобиевых. К апикальным частям массивов граниты сменяются их лейкократовыми

разностями. Гидротермально-метасоматические изменения, с которыми генетически связано оруденение, проявлены в апикальных участках массивов, а интенсивность метасоматического процесса увеличивается к их верхним контактам.

Метасоматиты представлены залежами альбититов, включающими промышленные рудные тела, границы которых определяются опробованием. Минеральный и, соответственно, геохимический облик метасоматитов, развившихся по щелочноземельно-гранитному и щелочно-гранитному субстратам неодинаков. Первые в качестве главных рудных минералов содержат колумбит-танталит, микролит, касситерит, вторые — пироксор, колумбит, циркон, ксенотим. У первых над метасоматитами наблюдаются комплексные литогеохимические ореолы: Ta, Nb, F, Sn, W, Li, Rb, Be, Cs, у вторых — ореолы Ta, Nb, Li, F, Zr, Y, TR, U, Th. В надинтрузивном пространстве для первых характерны альбит-лепидолитовые с бериллом и лепидолит-циннвальдит-топазовые грейзены, для вторых — микроклин-альбит-флюоритовые прожилки с минералами бериллия. В связи с наличием U и Th в рудах тантал-ниобиевых месторождений в щелочных гранитах над ними прослеживаются аэро- и наземные существенно ториевые радиоаномалии.

При надрудном срезе месторождений обоих типов прямые признаки их наличия на глубине отсутствуют. У танталовых месторождений в щелочноземельных гранитах в надрудной части могут присутствовать проявления оловянной, оловянно-молибденовой и оловянно-молибден-вольфрамовой минерализации, у тантал-ниобиевых в щелочных гранитах — проявления жильной молибденитовой минерализации.

Экзоконтактовый эрозионный срез маркируется комплексными геохимическими ореолами элементов, специфических для месторождений каждого из указанных типов, зонами грейзенизации у танталовых месторождений и жильной флюорит-бериллиевой минерализации у тантал-ниобиевых, для которых гораздо более информативны аэро- и наземные существенно ториевые радиоаномалии, обусловленные присутствием в их экзоконтактах радиоактивных минералов, в частности торита.

Когда эрозией вскрыто собственно рудное пространство (само месторождение), все признаки месторождения выражены наиболее отчетливо. Это, прежде всего, специфический минералого-геохимический облик месторождения: закономерное сочетание в пространстве минеральных типов его руд, характеризующихся набором определенных минеральных ассоциаций и специфическими особенностями их химического состава; присущие месторождению комплексные геохимические ореолы свойственных ему элементов; зональность рудных тел и вмещающих их пород; у тантал-ниобиевых месторождений в щелочных гранитах наличие интенсивных радиоаномалий ($Th > U$). Подрудное пространство у месторождений обоих типов занято материнскими для них гранитами, над которыми наблюдаются мало контрастные геохимические ореолы обычно 1–2 элементов.

Геологи, изучавшие танталовые месторождения в метасоматически измененных щелочноземельных гранитах предполагают, что такие месторождения возникают в тех

случаях, когда пегматитовый танталоносный расплав по каким-либо причинам не смог отделиться от гранитов материнского очага и кристаллизовался в его апикальной части. В подобных случаях среди минералов руд может присутствовать типичный для редкометалльных пегматитов сподумен.

Танталовые месторождения в метасоматически измененных щелочноземельных гранитах и тантал-ниобиевые в щелочных гранитах иногда наблюдаются в пределах единой вулканоплутонической структуры (например, на плато Джос в Африке).

Главные элементы прогнозно-геологической модели тантал-ниобиевых месторождений в метаморфогенных гранитоподобных щелочных метасоматитах (рис. 4) следующие:

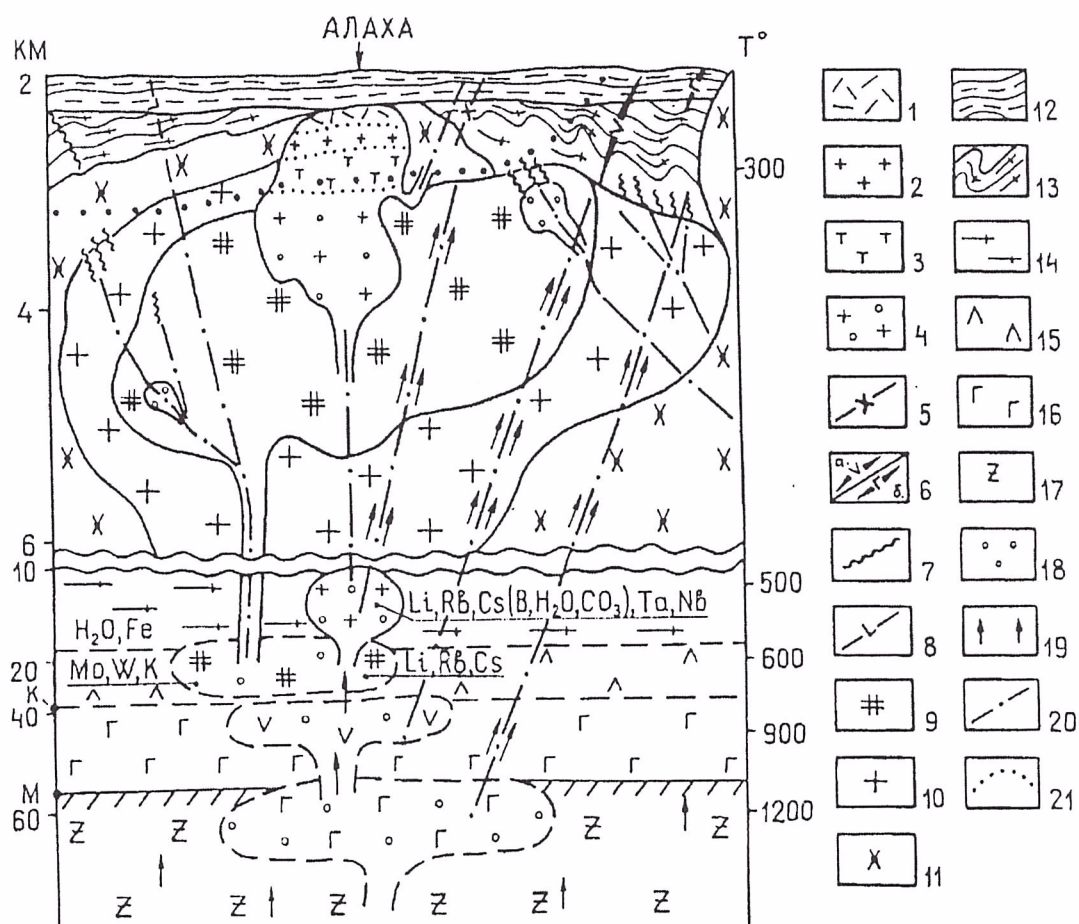


Рис. 4. Прогнозно-геологическая модель танталового месторождения гранитно-метасоматитового типа (на примере месторождения Алаха [15]):

измененные гранит-порфиры чиндагатуй-калгутинского комплекса редкометалльных гранитов, Т- J_1 : 1 — грейзенизированные, 2 — калишпатизированные, 3 — турмалинизированные, 4 — сподуменизированные; чуйский дайковый комплекс, Т- J : 5 — лампрофиты, порфириды: а — щелочные андезитовые, б — базальтовые; горноалтайский комплекс, P_1 : 7 — кварцевые жилы с Мо, W, 8 — пегматиты, 9 — лейкограниты дополнительной и 10 — граниты первой фазы; 11 — гранитоиды рахмановского комплекса, аS; 12 — средне-палеозойские вулканогенно-осадочные; 13 — раннепалеозойские существенно метатерригенные отложения; 14 — гранитометаморфический; 15 — метадiorитовый; 16 — metabазальтовый слой ЗК; 17 — верхняя мантия; 18 — очаги рудоносных расплавов; 19 — направление флюидопотоков; 20 — магмоконтролирующие и рудоподводящие разломы; 21 — уровень денудации

1. Региональный крутопадающий разлом, рассекающий метаосадочные и метаэффузивные породы зеленосланцевой фации метаморфизма, в зоне разлома подвергшиеся катаклазу, милонитизации и прогрессивному метаморфизму амфиболитовой фации низкого давления, но сохранившими знаки их первичного осадочного происхождения (следы илоедов, волноприбойной ряби и др.).

2. Щелочные редкометалльные кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты, развившиеся по этим породам в виде пласто- и линзообразной мощной (до 500 м) залежи и содержащие убогую вкрапленность пирохлора, циркона, некоторых других акцессорных минералов. Залежь имеет поперечно-зональное строение: ее висячий бок сложен аннитовыми и аннит-рибекитовыми метасоматитами, к центру сменяющимися рибекитовыми и затем арфведсонит-эгириновыми метасоматитами, но мощность зон висячего бока в сотни раз больше мощности зон лежачего бока.

3. Обогащенная рудными минералами центральная часть залежи — рудное пространство, представляющее собой собственно месторождение. Контуры рудных тел определяются по опробованию. Рудные тела слагаются арфведсонит-эгириновыми метасоматитами с тонкой вкрапленностью редкоземельного пирохлора, циркона, гагаринита, редкоземельно-иттриевого флюорита, криолита и некоторых других акцессорных минералов. Когда эрозионный срез обнажает рудное пространство, над рудными телами наблюдаются комплексные геохимические ореолы Ta, Nb, Zr, TR, Li, U, Th, F и существенно ториевые аэро- и наземные радиоаномалии.

4. Экзоконтактовое пространство, в котором наблюдаются микроклинизация, флюоритизация и биотитизация с сопутствующими торитом, гадолинитом, ортитом, кейльгауитом, гагаринитом, образующие тела значительно более мощные в висячем боку залежи, а над ними — ореолы тех же элементов, что и над рудными телами, но ореолы тория здесь интенсивнее и поэтому больше величина радиоаномалий. Иттрофлюорит-гагаринитовая минерализация в лежащем боку рудной залежи иногда достигает промышленных концентраций.

Надрудное и подрудное пространства представляют собой рассеченные разрывом метаосадочные породы и их разности, преобразованные в зоне разрыва. В этих частях модели встречаются жильные проявления молюбденитовой минерализации, но прямые признаки наличия тантал-ниобиевого месторождения отсутствуют.

Прогнозно-геологическая модель тантал-ниобиевого месторождения в метаморфогенных и гранитогенных щелочных метасоматитах представляет собой частный случай предыдущей модели. В этом случае рудовмещающий разрыв протягивается вдоль контакта массива щелочноземельных гранитов, и проявленный вдоль разрыва метасоматический процесс охватывает как граниты и их мигматиты, так и прорванные гранитами метаосадочные породы. Рудная залежь состоит из чередования линз и пластов метасоматически измененных метапелитов (сланцев), гранитов и мигматитов. Апосланцевые руды мезократовые амфибол-эгириновые с пирохлором в качестве главного рудного минерала, апогранитные и апомигматитовые — лейкократовые фенгитовые колумбит-

фергусонитовые. Метасоматические колонки не достигают полного развития из-за переслаивания в субстрате пород разного химического состава, обуславливающего эффект геохимических барьеров, и поэтому небольшой масштаб месторождения при в целом бедных содержаниях тантала и ниобия.

В надрудном и подрудном пространствах модели прямые признаки оруденения отсутствуют, но встречаются кварцево-молибденитовые жилы, иногда достигающие масштабов мелкого месторождения. Для экзоконтактового и собственно рудного пространства характерны специфические для метасоматитов и их контактов минеральные составы, наличие радиоаномалий и геохимических ореолов элементов, свойственных как метаморфогенным, так и гранитогенным щелочным метасоматитам.

Поскольку в обозримом будущем перспективы выявления месторождений, подобных Ловозерскому, в России и мире отсутствуют, в разработке модели такого месторождения нет практической необходимости.

Прогнозно-геологические модели танталовых и тантал-ниобиевых месторождений помогают выбрать наиболее рациональную методику геолого-поисковых и геологоразведочных работ на новых месторождениях, а модель пространственного размещения известных месторождений в региональных структурах континентов — способствовать обнаружению новых месторождений.

Список литературы.

1. Алтухов Е.Н. Основные особенности размещения редкометальных месторождений в региональных структурах континентов. // Отечественная геология. 1995. № 6. С. 22–25.
2. Амантов В.А., Сотников Г.Г. Рудные районы и рудные узлы Забайкалья в системе аномальных зон тектоносферы региона. // Региональная геология и металлогения. 1999. № 9. С. 68–76.
3. Архангельская В.В. Закономерности размещения эндогенных редкометалльных месторождений. — М.: Недра, 1980.
4. Архангельская В.В. Линеаментная минерагения СССР. — М.: Недра. 1990.
5. Быховский Л.З., Кудрин В.С. Промышленные типы месторождений редких металлов.— М.: ЗАО «Геоинформмарк». 2001.

ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И ОЦЕНКА РАЗНОТИПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ

А.Б.Павловский, Н.П.Митрофанов, Т.А.Бурова (ВИМС)

На основе трех важнейших положений формационного анализа — геотектонической позиции и геодинамических условий формирования оруденения, пространственно-временного и генетического соотношения оруденения с определенными магматическими формациями, специфики парагенных олову геохимических ассоциаций ведущих элементов весьма разнообразное оловянное оруденение объединяется в две главные оловорудные формации: литофильную редкометалльно-вольфрам-оловянную и сидеро-халькофильную железисто-полиметалльно-оловянную с выделенными в них промышленными типами месторождений (см. таблицу).

Формационные и промышленные типы оловорудных месторождений

Оловорудные формации	Промышленные типы	Запасы, % от общих		Масштабы месторождений	Примеры месторождений
		Россия	Зарубежные страны		
Редкометалльно-вольфрам-оловянная	Апоскарновый оловянный пластово-залежный	0,3	2,2	Мелкие и средние, встречаются крупные	Кителя, Титовское (Россия), Хаммерляйн (Германия)
	Олово-грейзеновый жильно-штокверковый	24,4	12,4	От мелких и средних до весьма крупных	Правоурмийское, Одинокое, Тигриное (Россия), Циновец (Чехия), Альтенберг (Германия), Питинга (Бразилия)
	Олово-кварцевый штокверково-жильный	21,7	11,2	От мелких и средних жильных до весьма крупных штокверковых	Иультин, Пыркакай, Полярное (Россия), Маучи (Мьянма), Панаскейра (Португалия), Лиму (Китай)
Железисто-полиметалльно-оловянная	Олово-силикатный штокверково-жильный	30,7	10,5	Крупные, весьма крупные	Валькумей, Солнечное, Тернистое, Хрустальное (Россия), Учкошкон (Кыргызстан), Монте-Бланко, Караколес (Боливия), Малагэ (Китай)
	Олово-сульфидный прожилково-жильный	9,0	18,8	От мелких до крупных	Дальнетаежное, Хапчеранга, Смирновское, Зимнее (Россия), Ллалагуа, Оуру, Потоси (Боливия), Тачан (Китай), Маунт-Бишоф, Ренисон Белл (Австралия)

Среди месторождений редкометалльно-вольфрам-оловянной формации наибольшее промышленное значение имеют месторождения олово-грейзенового и олово-кварцевого типов, на долю которых суммарно приходится 23,6% подтвержденных запасов зарубежных стран и 46,1% разведанных балансовых запасов олова России. Существенную роль играют месторождения этих двух типов и в добыче коренного

олова России (Хинганское, Чурпунья), их руды относятся к легкообогатимым. Месторождения апоскарнового оловянного типа, также принадлежащие к редкометалльно-вольфрам-оловянной формации, в России пока имеют подчиненное значение (0,3%), хотя за рубежом их доля в запасах составляет 2,2% балансовых запасов страны.

До последнего времени основными объектами эксплуатации были месторождения олово-силикатного типа, которые по масштабам относятся к крупным и средним. В них сосредоточено 30,7% балансовых запасов России, а руды относятся к хорошо обогатимым.

Месторождения олово-сульфидного типа данной формации характеризуются труднообогатимыми рудами, вследствие чего мало используются отечественной промышленностью. На их долю приходится 9% балансовых запасов олова страны.

Для прогнозно-минерагенических, поисковых и оценочных целей нами созданы комплексные обобщенные прогнозно-геологические модели оловорудных формаций и частные модели месторождений наиболее значимых их промышленных типов. Такие модели созданы с учетом следующих основных факторов и элементов-признаков (характеристик): структурно-тектонических, формационных рудогенерирующих, рудно-формационных, литолого-фациальных, гидротермально-метасоматических, морфогенетических, минералогических, геохимических и геофизических.

Для месторождений редкометалльно-вольфрам-оловянной формации ниже по тексту и на рис.1 приведены основные модельные факторы и характеристики:

Структурно-тектонические. Приуроченность оруденения и рудопроизводящих гранитоидных интрузий к областям тектоно-магматической активизации структур ранней консолидации складчатых систем, щитов и платформ в местах развития поперечных и подновленных продольных глубинных разломов. Локализация оруденения в интрузивно-околоинтрузивных зонах гранитных штоков, куполов и гребневидных выступов, а также в надынтривных зонах.

Формационно-рудогенерирующие. Наличие плутонических или вулканно-плутонических комплексов гранодиорит-гранит-лейкогранитной магматической формации, с поздними кислыми, ультракислыми дифференциатами которой связано редкометалльно-вольфрам-оловянное оруденение, встречающееся в широком возрастном диапазоне — от верхнего протерозоя до мезозоя.

Рудно-формационные. Образование промышленными типами редкометалльно-вольфрам-оловянной формации единой эндогенной рудной колонки относительно рудопроизводительных гранитных интрузий (снизу вверх): апоскарновый оловянный тип контакта рудоносных гранитов — олово-грейзеновый интрузивно-околоинтрузивных зон — олово-грейзеновый надынтривный — олово-кварцевый надынтривный.

Литолого-фациальные. Широкое развитие в надрудных и рудных частях месторождений терригенных, вулканогенных, карбонатных пород, скарнов, ранних гранитоидов; в подрудных — преобладание рудопроизводящих гранитов.

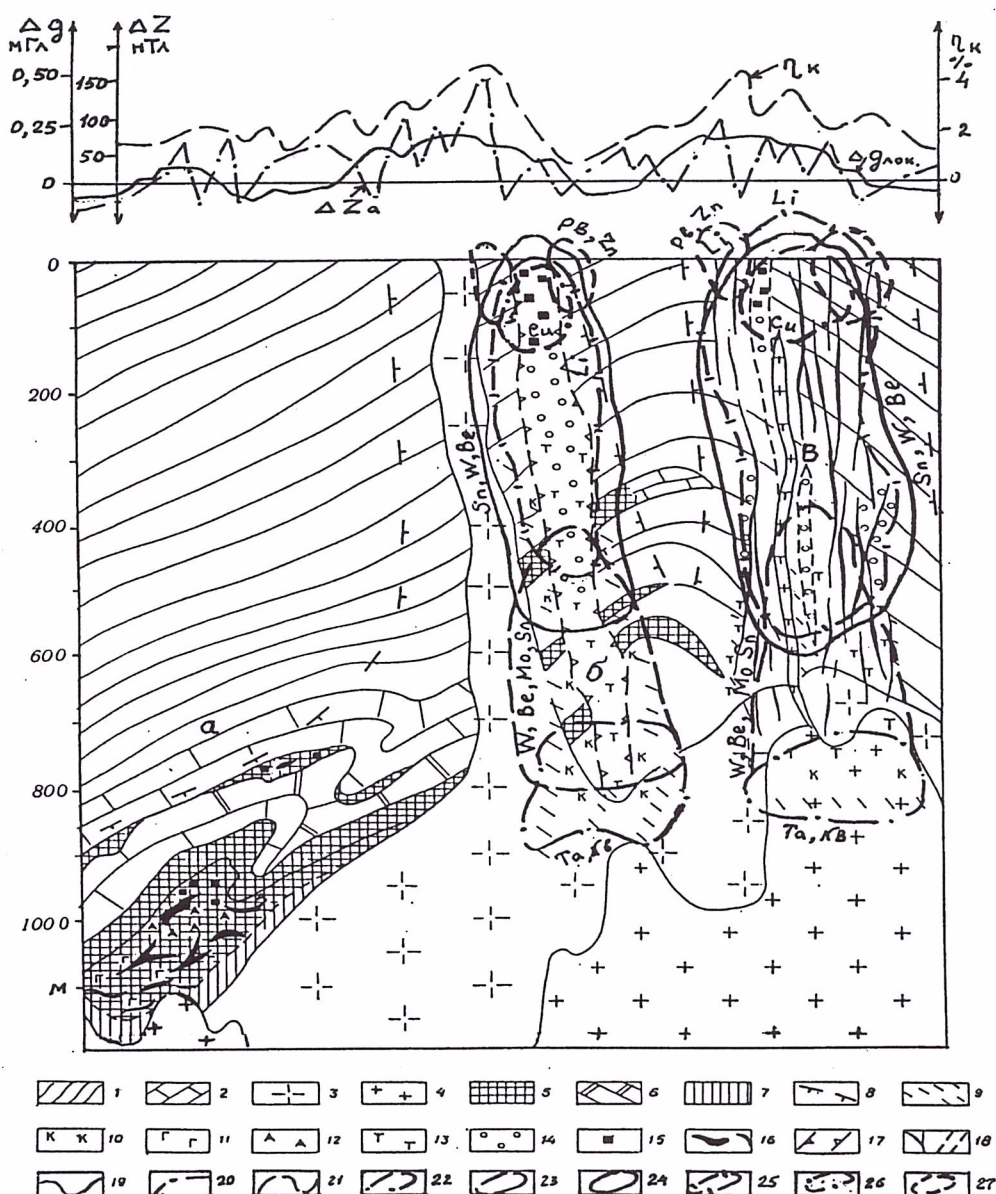


Рис. 1. Обобщенная прогнозно-геологическая модель месторождений редкометалльно-вольфрам-оловянной формации:

промышленные типы: А — апоскарновый оловянный, Б — олово-грейзеновый, В — олово-кварцевый; 1 — терригенные отложения; 2 — карбонатные породы; оловоносный магматический комплекс гранодиорит-гранит-лейкогранитной формации: 3 — граниты главной интрузивной фазы, 4 — лейкограниты заключительной интрузивной фазы; 5 — эндо- и экзоскарны; 6 — мраморы; 7 — околоскарновые породы; 8 — граница ореола контактового метаморфизма; зоны развития рудно-минеральных ассоциаций и метасоматических изменений: 9 — оловоносная тантал-ниобиевая минерализация в зонах альбитизации, 10 — редкометалльная минерализация в зонах калишпатизации, 11 — натанит-экерит-касситеритовая минерализация в зонах щелочного метасоматоза по скарнам, 12 — касситеритовая минерализация в зонах амфиболитизации по скарнам, 13 — вольфрамит (шеелит)-берилл (даналит)-молибденит-касситеритовая минерализация в зонах топазизации (флюоритизации), 14 — касситеритовая минерализация с вольфрамитом и бериллом в слюдисто-кварцевых метасоматитах, 15 — касситерит-станнин-сульфидная минерализация в зонах развития кварц-карбонатных прожилков, 16 — рудные тела в скарнах, 17 — рудные штокверковые зоны, 18 — кварцевые жилы с вольфрамитом, касситеритом, станнином и сульфидными минералами в зонах прожилкования; геофизические аномалии: 19 — гравиразведки, 20 — магниторазведки, 21 — электроразведки ВЭЗ ВП; геохимические аномалии: 22 — Ta и Nb, 23 — W, Be, Mo, Sn, 24 — Sn, W, Be, 25 — Li, 26 — Cu, 27 — Pb и Zn

Морфогенетические. Меж- и внутрислоистовые, секущие круто- и пологопадающие рудные тела, пластово-залежные метасоматические рудные образования, жилы простого и сложного строения, жильные зоны, штокверки и минерализованные зоны.

Гидротермально-метасоматические. Проявления контактового метаморфизма, образование раннегидротермальных зон калишпатизации, альбитизации, грейзенизации, топазизации, турмалинизации в алюмосиликатных породах, флогопитизации, актинолизации, тремолитизации в карбонатных породах и скарнах; интенсивные околорудные изменения — серицитизация, окварцевание, оталькование, скаполитизация, поздние каолинизация, карбонатизация и др.

Минералогические. Характерные минеральные ассоциации: пироксен-плаггиоклазовая с касситеритом, оловосодержащим гранатом и боратами; топаз-кварцевослюдистая с касситеритом, кестеритом, реже с бериллом и вольфрамитом, танталониобатами; флюорит-слюдистая с касситеритом, малайяитом, пайгеитом; полевошпат-кварцевая с касситеритом, станнином, вольфрамитом иногда с бериллом; флюорит-кварцевая с касситеритом, станнином, шеелитом, даналитом, гелвинном.

Геохимические. Отчетливые шлиховые ореолы касситерита и сопутствующих вольфрамита, шеелита, иногда тантал-ниобатов, а также ореолы рассеяния и вторичные литохимические ореолы рассеяния олова и элементов-спутников.

Геофизические. Спокойные слабоотрицательные магнитные поля и отчетливо выраженные гравитационные минимумы над интрузиями оловоносных гранитоидов, окруженных положительными гравитационными и магнитными аномалиями над полями контактово-измененных ороговикованных пород.

Для месторождений железисто-полиметалльно-оловянной формации основные модельные факторы и элементы-признаки приведены ниже и на рис. 2.

Структурно-тектонические. Преимущественная приуроченность оруденения и ареалов гранитоидов оловоносных комплексов к областям эпигеосинклинальной орогенции складчатых систем в местах интенсивного развития разноориентированных нарушений в связи с поперечными разломами.

Формационно-рудогенерирующие. Наличие плутонических и вулканно-плутонических комплексов диорит-монцогранодиорит-гранитной магматической формации, с которыми парагенетически связано полиметалльно-оловянное оруденение, встречающееся преимущественно в возрастном диапазоне — от среднего палеозоя до кайнозоя.

Рудно-формационные. Образование промышленными типами месторождений железисто-полиметалльно-оловянной формации единой вертикальной рудной колонки, отражающей эндогенную зональность оруденения (снизу вверх): олово-силикатный — олово-сульфидный типы.

Литолого-фациальные. Преимущественная локализация месторождений олово-силикатного типа среди терригенных пород; месторождения олово-сульфидного типа нередко встречаются в вулканогенных образованиях и карбонатных породах.

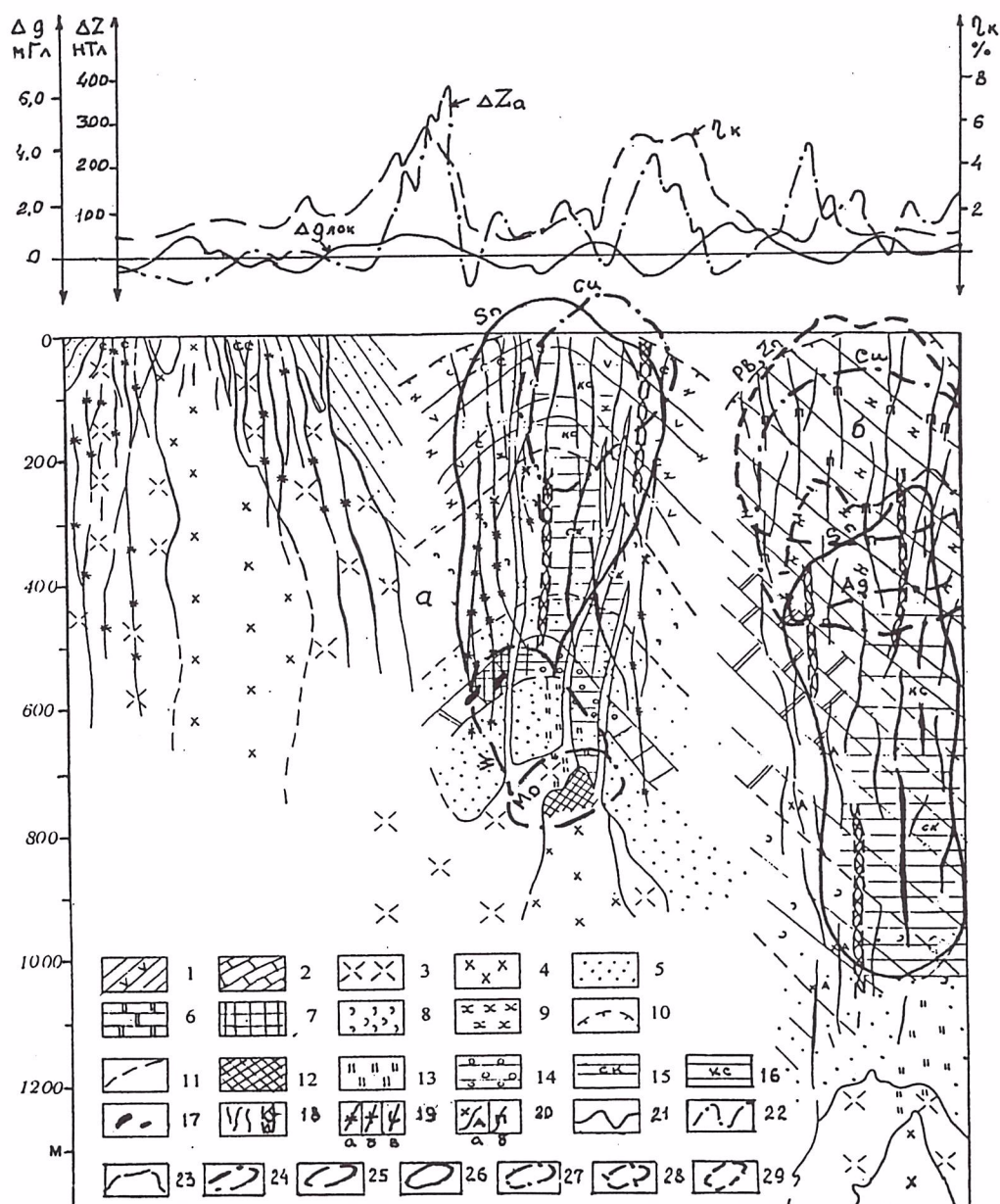


Рис. 2. Обобщенная прогнозно-геологическая модель месторождений железисто-полиметалло-оловянной формации:

промышленные типы: А — олово-силикатный, Б — олово-сульфидный; 1 — перемежающиеся вулканогенно-терригенные отложения; 2 — карбонатные породы; оловоносный магматический комплекс диорит-монцогранодиорит-гранитной формации: 3 — гранодиориты главной интрузивной фазы, 4 — граниты заключительной интрузивной фазы; контактово-метаморфизованные породы: 5 — биотитовые роговики, 6 — мраморы, 7 — скарны, 8 — серицитизированные породы, 9 — хлоритизированные породы; границы: 10 — ореола контактового метаморфизма, 11 — раздела контактово-измененных пород, зоны развития рудно-минеральных ассоциаций и метасоматических изменений: 12 — молибденит-шеелитовая в полевошпат-серицит-кварцевых метасоматитах, 13 — вольфрамитовая в кварцевых метасоматитах, 14 — касситерит-станнин-норденшельдиновая, наложенная на полевошпат-эпидот-скаполитовые метасоматиты, 15 — станнин-касситеритовая, наложенная на пироксен-эпидот-полевошпатовые метасоматиты, 16 — касситерит-станный, наложенная на амфибол-пироксеновые метасоматиты, 17 — сульфидные рудные тела в скарнах, 18 — жильные (I) и дробления (II), 19 — кварц-касситеритовые жилы: а — с турмалином, б — хлоритом, в — сульфидами, 20 — кварц-касситеритовые жилы: а — с арсенопиритом, халькопиритом и б — полиметаллами; геофизические аномалии: 21 — гравиразведки, 22 — магниторазведки, 23 — электроразведки-ВЭЗ ВП; геохимические аномалии: 24 — Мо, 25 — W, 26 — Sn, 27 — Cu, 28 — Ag, 29 — Pb и Zn

Морфогенетические. Простые и сложные жилы, жильные серии и минерализованные зоны типа линейных штокверков в алюмосиликатных породах, линзо-гнездо-трубообразные тела и неправильные залежи в карбонатных породах и скалах.

Гидротермально-метасоматические. Развитие зон биотитизации, преобладание турмалинизации, серицитизации, сидерофиллизации, окварцевания на нижних уровнях месторождения, хлоритизации и пропилитизации — на верхних.

Минералогические. Характерные минеральные ассоциации: кварц-турмалин-касситеритовая, кварц-хлорит-касситеритовая, кварц-арсенопирит-касситеритовая с халькопиритом, станнином и другими сульфидами, касситерит-станниновая, касситерит-норденшельдиновая, галенит-сфалеритовая с тиллитом, франкеитом, канфилдитом, окартитом, минералами сурьмы и серебра.

Геохимические. Шлиховые ореолы касситерита, первичных и вторичных ореолов рассеяния олова и элементов-спутников, образующих зональный ряд от центров оруденения к периферии.

Геофизические. Слабо выраженные локальные остаточные аномалии в поле силы тяжести над метаморфизованными породами, отчетливо выраженные магнитные и электрофизические аномалии над рудными телами.

При построении собирательного модельного образа месторождений конкретного промышленного типа используются частные модели, которые позволяют полнее отобразить особенности данного типа: структурно-вещественная, метасоматическая, рудно-геохимическая и геофизическая. Так, для месторождений силикатного промышленного типа железисто-полиметалльно-оловянной формации они выглядят следующим образом (рис.3):

Структурно-вещественная модель (I) (см. рис. 3). Отображает литологические, магматические, структурные и морфологические критерии локализации месторождений олово-силикатного типа.

Литологические и магматические критерии. Оловорудные объекты расположены среди терригенных, в меньшей степени, карбонатных и вулканогенных пород. Терригенные отложения, как правило, характеризуются флишоидным строением, полимиктовым составом с преобладанием аркозов. Оруденение парагенетически связывается с пестрыми по составу интрузивными телами, породы которых принадлежат диорит-монцогранодиорит-гранитной формации.

Структурные и морфологические критерии. Месторождения формируются в рудно-магматической системе, наложенной на вмещающие образования. Система возникла на коровом разломе (зона проницаемости), по которому внедрялись гранитоиды. Давление на вмещающие породы при внедрении гранитоидов обусловило формирование над интрузивным выступом конусообразной структуры, обращенной вершиной вниз. В нижней части структуры преобладают штокверки, в верхней — жилы. Длина жил изменяется от 100 до 1300 м, штокверков до 350 м, мощность жил — от 0,1 до 1,5 м, в раздувах достигая 6 м; мощности штокверков — от 10 до 130 м.

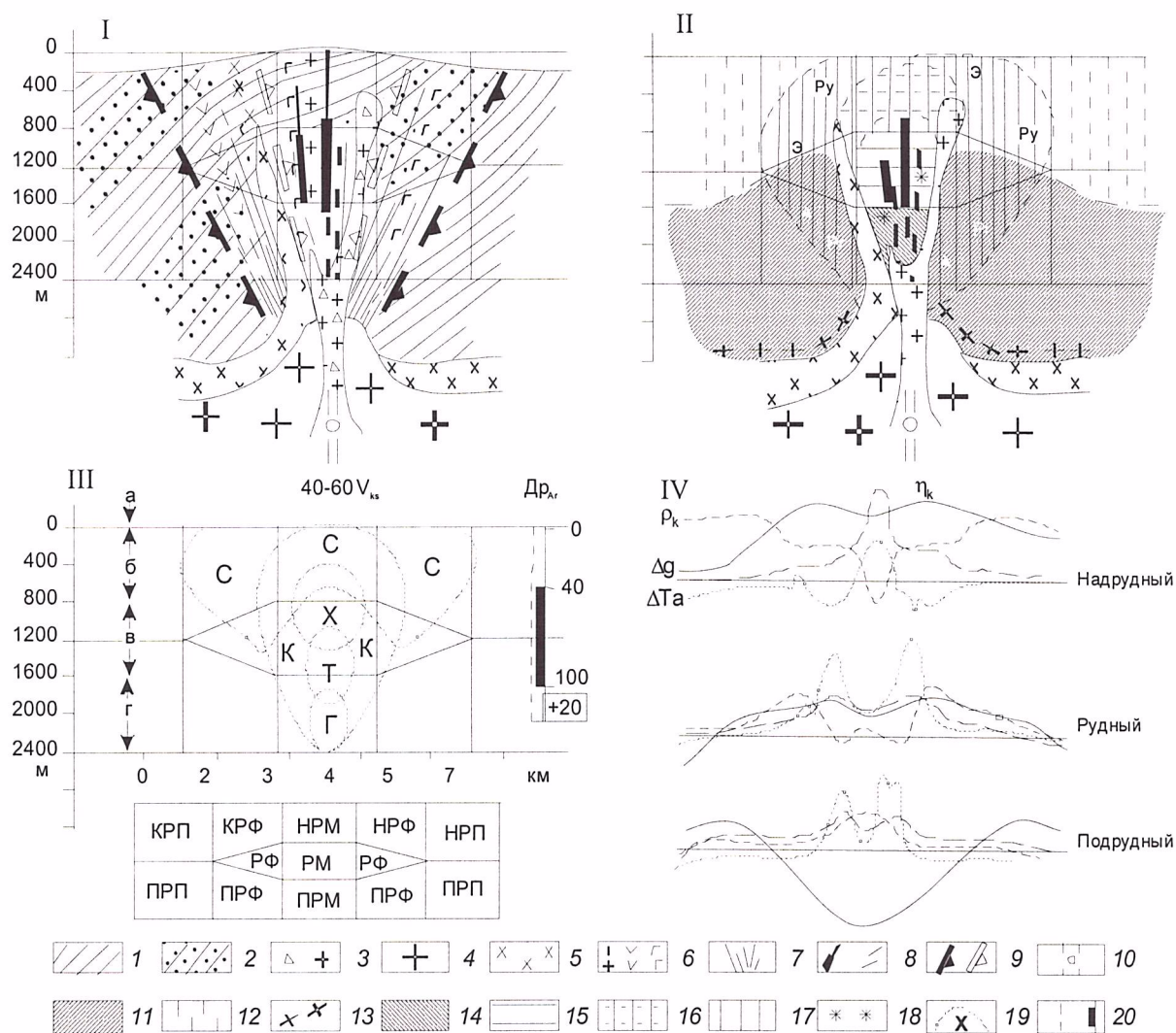


Рис. 3. Прогнозно-геологическая модель месторождений олово-силикатного промышленного типа железисто-полиметалльно-оловянной формации:

модели: I — структурно-вещественная, II — метасоматическая, III — минералогическая с элементами геохимии, IV — геофизические графики на срезах; 1 — алевролиты и аргиллиты; 2 — пачки флишеидного переслаивания алевролитов и песчаников; 3 — трубки взрыва кислого состава; 4 — граниты криптобатолита; 5 — гранодиорит-порфиры, кварцевые диоритовые порфиры; 6 — дайки состава: а — кислого, б — среднего, в — основного; 7 — трещиноватость; 8 — рудные тела: а — жильные, б — прожилково-вкрапленные зоны и штокверки; 9 — контуры: а — купольной рудно-магматической системы (рудного поля), б — рудной воронки (месторождения); 10 — глубинные зоны проницаемости; зоны региональных метасоматитов: 11 — биотитовая, 12 — пропилитовая; 13 — зона контактовых роговиков; фации локальных метасоматитов: 14 — грейзеноподобная, 15 — березитоподобная, 16 — переходная березито-пропилитоподобная, 17 — пропилитоподобная; 18 — турмалинизация; области преобладающего распространения минеральных типов оруденения: Э — эпидот, Ру — пирит, А — актинолит, Рг — пирротин; 19 — границы распространения минеральных типов оруденения: С — сульфидно-сульфосольного, К — колчеданного, Х — хлоритового, Т — турмалинового, Г — грейзенового; положение определяющих эрозионный срез геохимически ассоциаций: а — Au-Ag, б — Pb-Zn-Ag, в — Sn-Cu-As, г — W-Mo; 20 — вертикальный размах и благоприятные интервалы локализации оловянного оруденения по количеству арсенопирита дырочного типа проводимости, Dr_{Ar} , %; V_{ks} — термоЭДС касситерита, мВ; зоны геологического пространства: РМ — месторождения, РФ — его фланги; надрудные: НРМ — месторождения, НРФ — фланговые, НРП — периферические; подрудные: ПРМ — месторождения, ПРФ — фланговые, ПРП — периферические; на графиках IV: Δg — поле силы тяжести, ΔT_a — магнитное поле, ρ — удельное сопротивление, η — поляризуемость

Вертикальный размах оруденения в жильных зонах достигает 1 км, в рядовых телах определяется в 100–600 м. Вертикальная протяженность штокверков может изменяться от 10 до 300 м. Рудно-магматическая система отчетливо проявляется в виде положительной морфоструктуры центрального типа с радиально-концентрическим расположением речной сети.

Метасоматическая модель (II) (см. рис. 3). Здесь отчетливо проявляется приуроченность продуктивного оловянного оруденения к границе региональных биотититовой и пропилитовой зон. В центральной рудонасыщенной части широко проявлены фации локальных метасоматитов-гидротермалитов. Внизу слабо развита грейзеновая фация, сменяющаяся выше березитоподобной, которая вмещает основные рудные тела. Далее по восстанию фация постепенно переходит в пропилитоподобную с затухающим оловянным оруденением. Эта фация локальных метасоматитов окружает центральную часть во всем объеме рудно-магматической структуры. В нижней ее части, развитой по биотититовой зоне, типоморфными являются актинолит и пирротин, для верхней части, наложенной на пропилитовую зону — эпидот и пирит.

Рудно-геохимическая модель (III) (см. рис. 3). Объединяет минералогические и геохимические критерии и демонстрирует хорошую дифференцированность оруденения во всем объеме рудно-магматической системы.

Минералогические критерии. Концентрации минералов олова тяготеют к центральной части структуры, где образуют эндогенную рудную колонну. В нижней ее части расположена убогая грейзеновая минерализация с высокотемпературным касситеритом, сменяющаяся выше продуктивным олово-силикатным типом оруденения, в котором различаются турмалиновый (касситерит-турмалиновый) и хлоритовый (касситерит-хлоритовый) минеральные подтипы. На верхних горизонтах и на флангах олово-силикатные руды сменяются сульфидными с пониженными содержаниями олова. В них наряду с касситеритом обычны станнин и сульфосоли олова. В осевой части развито преимущественно колчеданно-полиметаллическое оруденение, которое в верхнерудной части и на флангах сменяется сульфосолю-полиметаллическим.

Геохимические критерии. В соответствии с распространением минеральных подтипов оруденения олово-силикатного типа на месторождениях отмечается четкая геохимическая зональность. Для геохимических полей подрудной части характерно присутствие вольфрама и молибдена. Для рудной части — олова, меди и мышьяка. Надрудную часть отличают серебро-полиметаллические геохимические аномалии. На периферии рудного поля геохимическую зональность продолжают ореолы золота и серебра, а на еще большем удалении — ореолы ртути и сурьмы.

Геофизическая модель (IV). По геофизическим графикам отчетливо видно изменение величин плотности (Δg), магнитной восприимчивости (ΔT_a), удельного сопротивления (ρ) и поляризуемости (η) пород рудно-магматической системы, различающиеся над месторождением, его флангах и периферии в зависимости от уровня эрозионного среза оруденения: для надрудного и верхнерудного срезов характерна положительная

гравитационная аномалия, совмещенная с переменным магнитным полем. На рудном срезе в поле силы тяжести на фоне положительных значений отмечаются две локальные положительные аномалии на флангах месторождения и отрицательная аномалия над его продуктивной частью. Подрудный срез характеризуется глубоким минимумом силы тяжести, осложненным на периферии локальными положительными аномалиями. Общее близкое к нулевым значениям магнитное поле над месторождением образует положительную аномалию с минимумом над продуктивной частью. Слабо повышенное удельное электрическое сопротивление совмещено с положительной аномалией поляризуемости с минимумом в центральной части и максимальными значениями на флангах.

Выявление характерных черт различного по рудоносности частей месторождений: надрудных, рудных и подрудных способствует эффективному их прогнозу, поискам и оценке.

Так, *надрудные части* месторождений олово-силикатного типа обычно не содержат прямых признаков присутствия рудных тел на глубине, поэтому при их прогнозе и поисках следует обращать внимание на наличие пропилитизированных пород, сульфидизации и окварцевания, колчеданной и полиметаллической минерализации, надрудных литогеохимических ореолов серебро-полиметаллических аномалий с появлением на периферии рудного поля ореолов ртути и сурьмы, положительные гравитационные и переменные магнитные аномалии.

Рудные части месторождений рассматриваемого типа отличаются наличием: жил в верхних и центральных частях и штокверков в нижних, зон турмалинитов и хлоритовых метасоматитов, сопряженных с рудными телами, рудных литогеохимических ореолов олова, меди и мышьяка, отрицательной аномалии поля силы тяжести над центральной частью на фоне положительных значений, продуктов гипергенеза сульфидной минерализации при интенсивных процессах окисления с образованием вторичных минералов железа, меди и мышьяка.

Подрудные части отвечают рудным полям и месторождениям с глубоким уровнем эрозионного среза, близким к выклиниванию рудных тел. Для подрудных частей оруденения олово-силикатного типа характерно появление признаков практически безрудной грейзенизации с молибденитом и вольфрамитом. Вольфрам и молибден присутствуют в геохимических полях. Подрудный срез характеризуется глубоким минимумом силы тяжести, отражающим наличие гранитов, в отдельных случаях вскрываемых на глубоких горизонтах.

Таким образом, прогнозно-геологические модели играют определенную роль при обосновании благоприятных обстановок выявления оловорудных месторождений основных промышленных типов, способствует повышению эффективности поисков месторождений и оценки их промышленных перспектив.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ МАСШТАБНОСТИ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ

Н.И.Ерёмин, А.Л.Дергачев, Н.Е.Сергеева (МГУ им. М.В.Ломоносова)

Многие десятилетия колчеданные месторождения вулканической ассоциации являются существенным источником меди, цинка, свинца, благородных металлов и других ценных компонентов. Среди многочисленных (свыше 1500) месторождений этого семейства по величине их разведанных запасов принято выделять рядовые (мелкие, средние), крупные и особо крупные (гигантские) объекты. Количественно резко преобладают рядовые месторождения, однако большая часть запасов руды и металлов приходится на долю немногочисленных крупных и особо крупных объектов. Именно они и принадлежат к приоритетным для промышленного освоения: большие запасы позволяют строить мощные добывающие предприятия с более низкими, чем средние, удельными производственными расходами и обеспечивать эти предприятия сырьем на многие годы.

К крупным, авторы настоящей публикации относят месторождения, запасы которых хотя бы по одному металлу превышают Cu 1 млн. т, Zn 2 млн. т или Pb 0,6 млн. т. В качестве особо крупных (гигантских) рассматриваются объекты, запасы которых в 5 и более раз превышают эти значения, минимальные для крупных месторождений (табл. 1). Выборка из 486 месторождений с известными цифрами запасов включала 40 таких месторождений, являющихся крупными по запасам одного, двух и даже трех металлов, и 4 особо крупных [5]. В них сосредоточено почти 59% суммарных мировых запасов руд, запасов Cu и Zn 62% и Pb — 73%. О тех месторождениях в базе данных, сведения о запасах которых отсутствуют (более 300), известно, что лишь 1–2 из них могут достигать уровня крупных по запасам металлов. Таким образом, доля крупных и особо крупных объектов в общем числе колчеданных месторождений, по-видимому, не превышает 4–5% [5]

1. Запасы металлов особо крупных (гигантских) колчеданных месторождений (в млн. т)

Металлы	P.Laznicka (1983)	Tu Guangzhi (1995)	Принятые авторами, 2004
Cu	>4,7	>2,5	>5,0
Pb	>1,6	>2,5	>3,0
Zn	>8,3	>2,5	>10,0

Однако средние характеристики месторождений различных типов [4] по величине запасов руды и металлов существенно различаются. Они наименьшие для месторождений кипрского типа, заметно большие для типа бесси, максимальные для уральского и особенно куроко. При этом крупные и особо крупные объекты чаще встречаются в типах уральском и куроко, рядовые представители которых отличаются большими запасами руды и металлов (табл. 2). Месторождениям уральского типа и особенно куроко

свойственны не только более крупные запасы цветных металлов, но и относительно высокие содержания (и запасы) золота и серебра [3]. Следовательно, идентификация типа разведываемого колчеданного месторождения позволяет судить о той или иной вероятности его принадлежности к крупным или рядовым объектам.

2. Средние величины запасов металлов рядовых фанерозойских колчеданных месторождений

Тип месторождения	Запасы металла, тыс. т		Число крупных месторождений
	Средние	Медианные	
Медь			
УРАЛЬСКИЙ	140	70	7
БЕССИ	144	60	2
КИПРСКИЙ	85	28	-
Цинк			
КУРОКО	248	93	13

Известно, что важнейшим признаком указанных типов колчеданных месторождений, а также их древних (докембрийских) аналогов, наряду с составом вмещающих вулканических толщ и геодинамическими условиями формирования, является химический и минеральный составы руд (табл. 3).

Геохимический облик месторождений типов кипрский и бесси определяется в целом невысокими содержаниями промышленных металлов при преобладании Cu над Zn, резко пониженными концентрациями примесных Pb и Ag, но повышенными Co и Ni, а также As. На фоне господствующих в рудах сульфидов железа (часто с примесями Co и Ni), достаточно распространенных сульфидов Cu и Zn, арсенопирита, теннантита и других минералов, здесь отмечаются разнообразные сульфиды, арсениды, сульфоарсениды и теллуриды Co и Ni, обычны из которых пентландит и кобальт-пентландит.

3. Ассоциации типоморфных редких минералов главных типов вулканогенных колчеданных месторождений

Руды	Типы			Возраст
	КИПРСКИЙ, БЕССИ	УРАЛЬСКИЙ	КУРОКО	
Слабо- или неметаморфизованные	Сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, теллуриды Co и Ni		Сульфиды Ag, Au Сульфоарсениды, сульфоантимониты, сульфовисмутиты Ag, Cu, Pb	KZ
		Сульфиды Ag, Au Сульфоарсениды, сульфоантимониты Ag, Cu, Pb Теллуриды Ag, Au, Pb, Bi, Hg, Fe, Cu	Сульфиды Ag, Au Сульфоарсениды, сульфоантимониты, сульфовисмутиты Ag, Cu, Pb. Теллуриды Ag, Au, Bi, Pb	PZ
Интенсивно метаморфизованные	Сульфоантимониты Pb Антимониды и сульфоантимониды Fe и Ni, а также силикаты Ba, алюмошпинели Zn и Fe, оксиды V и U, фосфаты Ca и REE			PC – PZ

Для более значимых по запасам месторождений типов уральского и куроко, свойственны более высокие содержания промышленных металлов при снижении относительной доли Cu, появление среди них Pb (тип куроко) и связанных с ним Ag и Bi. Помимо широкого изоморфного вхождения этих металлов в решетки галенита ($2\text{Pb}^{+2} = \text{Ag}^{+} + \text{Bi}^{+3}$) и блеклых руд ($\text{Sb}^{+3} = \text{As}^{+3} = \text{Bi}^{+3}$; $\text{Cu}^{+} = \text{Ag}^{+}$) они встречаются в самородном виде, образуют сульфиды, теллуриды, мышьяковые, сурьмяные и висмутовые сульфосоли. При этом в типе куроко сульфоарсениты и сульфоантимониты Ag, Cu и Pb представлены более широко и разнообразно. Кроме того в уральском типе отсутствуют сульфовисмутиты. В молодых (миоценовых) месторождениях Куроко в отличие от их более древних (девонских) аналогов (Рудный Алтай) теллуриды отсутствуют, но появляются сульфиды As и Sb (реальгар, стибнит, гетчеллит).

В интенсивно метаморфизованных докембрийских месторождениях независимо от их принадлежности к аналогам того или иного фанерозойского типа наблюдаются сульфоантимониты Pb, а также антимониды и сульфоантимониды Fe и Ni. Им свойственны также оксиды Fe, U, V, Zn, K-Ва полевых шпатов и слюд.

Диагностика редких минералов колчеданных руд, а также исследование особенностей химизма слагающих их главных и второстепенных минералов наиболее эффективны с использованием микроанализаторов, позволяющих выявлять и определять состав мельчайших (микронных) минеральных зерен, практически неразличимых в проходящем или отраженном свете оптических микроскопов [2].

Известно, также, что многим колчеданным рудным телам свойственна так называемая скрытая минералого-геохимическая зональность, проявляющаяся в закономерном пространственном изменении составов индивидуальных зерен пирита, сфалерита, блеклой руды и любого другого распространенного минерала руд [1, 2]. Такая зональность выявляется в результате рентгеноспектрального и лазерного микроанализов многочисленных образцов, систематически отобранных в рудных интервалах разведочных скважин, а также открытых или подземных горных выработок. Один из параметров такой зональности — ее контрастность, т.е. изменение состава минерала на 1 м мощности залежи. При отсутствии подобной зональности незакономерные (хаотические) колебания составов индивидуальных зерен минерала в сечении залежи отражают ее внутреннюю геохимическую неоднородность (заметим: рудный интервал взятия проб принадлежит одному минеральному типу, а анализируемые зерна минерала — единой генерации!), которая также может оцениваться амплитудой изменения состава минерала на 1 м мощности.

Оказалось, что указанные параметры резко отличны для крупных и рядовых месторождений, что отчетливо видно на примерах колчеданных месторождений Урала (табл. 4) и Рудного Алтая (табл. 5). Так, амплитуда изменения состава пирита по содержанию в нем примесного кобальта в медноколчеданных (с цинком) линзах Пятой залежи Гайского месторождения (рис. 1) на порядок меньше, чем в такого же состава рудных телах Осеннего месторождения. Близкая картина наблюдается и по изменению

железистости сфалерита в этих же рудных интервалах указанных месторождений (разница на 2 порядка, а по сравнению с Октябрьским месторождением (рис.2) — на порядок). Амплитуда изменения железистости сфалерита в интервалах колчеданно-полиметаллических руд крупного Ново-Лениногорского колчеданно-полиметаллического месторождения также на порядок меньше аналогичного показателя месторождений Анисимов Ключ и Юбилейно-Снегирихинское. Подобный тренд возрастания амплитуды изменения состава минерала в сторону рядовых объектов (от крупных) отчетливо проявляется по блеклым рудам в интервалах медно-цинково-колчеданных и колчеданно-полиметаллических руд месторождений Николаевское и Ново-Лениногорское (крупные), с одной стороны, и Камышинское, Юбилейно-Снегирихинское и Анисимов Ключ (рядовые), с другой.

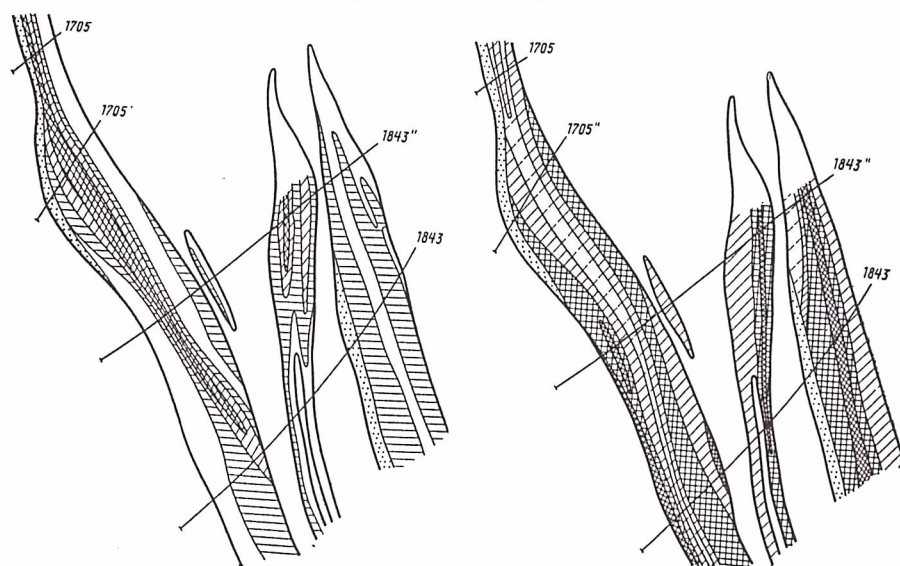


Рис. 1. Скважинные подсечения рудных тел Пятой залежи Гайского месторождения [2]

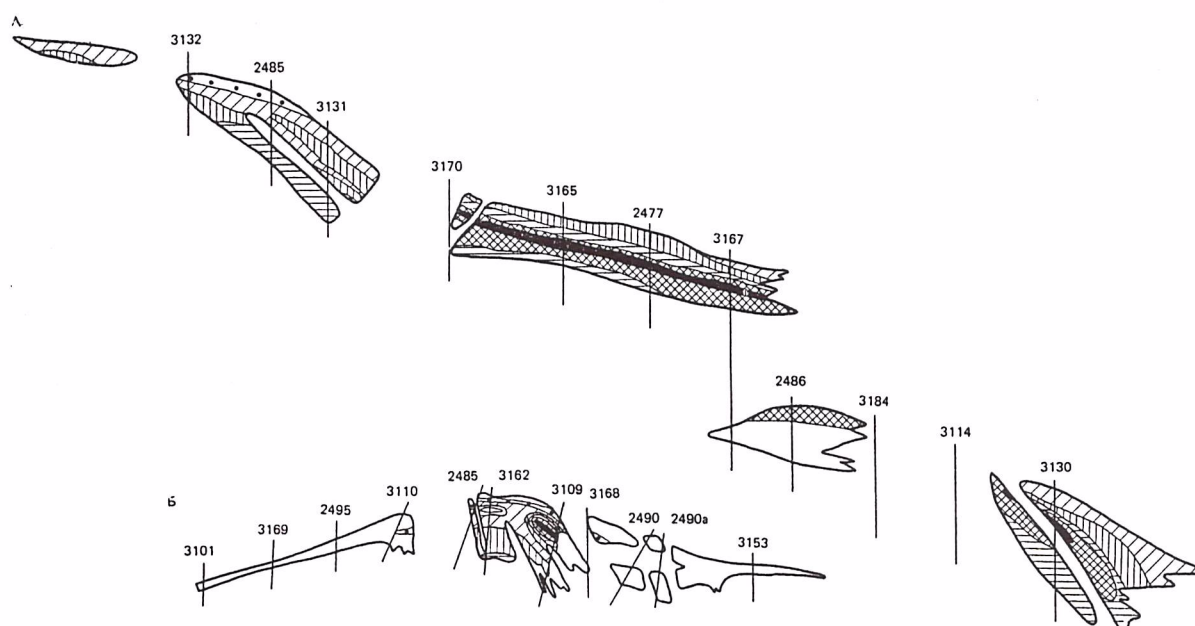


Рис. 2. Продольные и поперечные разрезы рудной залежи Октябрьского месторождения [2]

4. Изменчивость состава рудообразующих минералов колчеданных месторождений Урала

Месторождения	Запасы руды, млн.т	Скважины (интервалы опробования, м)	Изменчивость состава минерала (Δ ед. измерения / м)		
			Со в пирите	Fe в сфалерите	As/Sb в блеклой руде*
Крупные и особо крупные месторождения (запасы руды > 40 млн. т)					
Гайское		1705	0,81	0,04	–
		1705"	0,30	0,02	–
		1843"а	0,46	0,03	–
		1843"б	0,48	0,04	–
		1843	–	0,03	–
Рядовые (средние и мелкие) месторождения					
Осеннее	6,4	2622, (89–97,5)	4,7	1,2	–
		2622 (148–154)	–	1,2	–
		2630 (89–102)	8,7	–	–
		2625 (104–155)	–	1,2	–
		2624 (89–102)	2/6	–	–
		3223 (164–178)	–	0,29	–
		2627 (88–101)	5,2	–	–
Октябрьское	9,4	3165 (141–174)	–	0,17	–
		3130 (318–332)	–	0,17	–
		3130а(323–347)	–	0,15	–
		3131а (122–132)	–	0,24	–
		3168 (91–97)	–	1,14	–

* В опробованных интервалах зерна блеклой руды встречались спорадически

5. Изменчивость состава рудообразующих минералов колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая

Месторождения	Запасы руды, млн.т	Скважины (интервалы опробования, м)	Изменчивость состава минерала (Δ ед. измерения / м)		
			Со в пирите*	Fe в сфалерите	As/Sb в блеклой руде
Крупные и особо крупные месторождения (запасы руды > 40 млн. т)					
Николаевское		3165 (141–174)	–	–	0
		3165 (141–174)	–	–	0
		3165 (141–174)	–	–	0
Ново- Лениногорское		3165 (141–174)	–	0,002	1,84
		3165 (141–174)	–	0,02	1,17
		3165 (141–174)	–	0,056	0
Рядовые (средние и мелкие) месторождения					
Камышинское	1,46	740 (50–60)	–	–	5,7
		737 (75–77)	–	–	16,5
		155 (84–89)	–	–	4,4
Юбилейно- Снегирихинское	3,6	376 (227–244)	–	0,20	–
		545 (278–321)	–	0,16	–
		466 (353–395)	–	0,38	–
Анисимов Ключ	3,04	751 (277–300)	–	0,33	–

* Крайне низкие содержания Со в минерале не позволили количественно оценить их вариации по интенсивности соответствующих спектральных линий.

Таким образом, для крупных колчеданных месторождений свойственна выдержанность (постоянство) состава индивидуальных зерен главных и второстепенных минералов в рудных телах; иногда выявляемая в них скрытая минералого-геохимическая зональность слабая (неконтрастной). Наоборот, рядовые месторождения рассматриваемой ассоциации отличаются заметной изменчивостью состава этих минералов, обычно выражающейся в появлении скрытой минералого-геохимической зональности, нередко контрастной. Генетически это может объясняться различной длительностью (фактор времени) рудообразования, происходящего при определенных *P-T-X* условиях, даже незначительное изменение которых чутко отражается на особенностях химизма минералов; относительное постоянство таких условий в течение длительного времени – одно из необходимых при формировании крупных месторождений.

Следовательно, в ходе горно-буровых геологоразведочных работ на колчеданных объектах для оценки масштаба оруденения наряду с геолого-структурными и другими признаками целесообразно изучать особенности химизма индивидуальных зерен распространенных минералов по всей длине рудных подсечений отдельно по минеральным типам руд. Из отобранных (точечное опробование) небольших (1–2 см) образцов руд изготавливаются полированные (прозрачные) шлифы, с последующим их изучением микроаналитическими методами. Наиболее перспективные минералы для решения такого рода задач — пирит и халькопирит (содержания Co, Ni, Co/Ni), сфалерит (содержания Fe, Mn, Cd), галенит (содержания Ag, Bi), блеклые руды (содержания As, Sb, Sb/(Sb+As), Ag, Zn и др.). В производственной практике подобные исследования целесообразно комплексировать с проводимым обязательным рядовым опробованием руд.

Список литературы

1. Еремин Н.И. Скрытая минералого-геохимическая зональность колчеданных рудных тел // Геология рудных месторождений. 1977. № 6. С. 39–55.
2. Еремин Н.И. Дифференциация вулканогенного сульфидного оруденения (на примере колчеданных месторождений фанерозоя). – М.: Изд-во МГУ. 1983.
3. Еремин Н.И. Золотоносность вулканогенных колчеданных месторождений / Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т.2. – Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН. 2000. С. 110–120.
4. Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Сергеева Н.Е., Позднякова Н.В. Типы колчеданных месторождений вулканической ассоциации // Геология рудных месторождений. 2000. Т.42. № 2. С. 177–190.
5. Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Позднякова Н.В., Сергеева Н.Е. Крупные и особо крупные колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Геология рудных месторождений. 2004. Т.46. № 2. С. 107–127.

ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ В СИСТЕМЕ ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

*И.М.Витковский, О.М.Конкина, В.В.Кузнецов, В.И.Лобач,
И.С.Чанышев (ЦНИГРИ)*

В современной системе управления фондом недр прогнозные ресурсы (ПР) занимают важное место в развитии минерально-сырьевой базы. Утвержденные прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых в целом и алмазов, благородных, цветных металлов, в частности, служат для определения направлений геологического изучения недр, формирования федеральных программ проведения геологоразведочных работ, лицензирования выявленных объектов для перевода прогнозных ресурсов в запасы, которые являются основой воспроизводства минерально-сырьевой базы России.

Переоценка прогнозных ресурсов, проведенная профильными НИИ МПР России по состоянию на 1 января 2003 г. по 54 видам твердых полезных ископаемых, из которых более 30 были включены в программы геологического изучения, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы до 2020 года, показала, что страна имеет значительный ресурсный потенциал.

Этой работой был завершен 20-летний период мониторинга ресурсной базы твердых полезных ископаемых по пятилетним периодам, начало которому было положено в 1983 г. постановлением Правительства СССР. Как показали прошедшие годы, системный аудит ресурсной базы имел определяющее значение для программно-целевого проведения геологоразведочных работ по созданию крупной минерально-сырьевой базы черных, цветных, благородных, редких металлов и неметаллического сырья России.

Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов доказала высокую надежность, позволив создать одну из крупнейших в мире минерально-сырьевых баз — основу современной отечественной горнодобывающей промышленности и сырьевой безопасности страны.

Как показано в работах ЦНИГРИ (А.И.Кривцов, Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян и др.), к настоящему времени, как следствие реформирования недропользования, в минерально-сырьевом секторе России возник дисбаланс между системами лицензирования и воспроизводства минерально-сырьевой базы, которая призвана наращивать фонд недропользования в форме различных категорий прогнозных ресурсов и запасов, адекватных требованиям инвестиционной привлекательности объектов в современных условиях. Дисбаланс выражается в достаточно остром дефиците объектов для проведения разведочных работ и получения прироста запасов.

Неудовлетворительное финансирование геологоразведочных работ в предшествующие годы привело к избыточному наращиванию инертной массы прогнозных ресурсов категории Р₃, в то время как прогнозные ресурсы наиболее востребованных категорий

P_2 и P_1 (резерва для прироста запасов) восполнялись низкими темпами и весьма слабо вовлекались в поиски и оценку, т.е. подготовку объектов для лицензирования. В силу удовлетворительной обеспеченности горных предприятий, получивших запасы еще в дореформенный период, оказалась также замороженной значительная часть прогнозных ресурсов категории P_1 в распределенном фонде недр, оцененных ранее на флангах и глубоких горизонтах эксплуатируемых месторождений. Поэтому, главные цели геолого-экономической переоценки прогнозных ресурсов на современном этапе заключаются в следующем:

актуализации количественного и качественного состояния ресурсного потенциала недр для повышения его ликвидности;

проведении аудита реализации и прироста ресурсного потенциала;

выявлении инвестиционно привлекательных объектов для разработки текущих, средне- и долгосрочных программ геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы и лицензированию.

Оценка прогнозных ресурсов проводится на базе действующих регламентирующих документов — Классификации запасов и прогнозных ресурсов и Положения о проведении геологоразведочных работ по этапам и стадиям, основанных на принципах соответствия и последовательного приближения, обеспечивающих соответствие между детальностью геологоразведочных работ и рангами металлогенических (минерагенических) таксонов, которым эквивалентны определенные категории прогнозных ресурсов. Возрастанию детальности работ отвечает все большая локализация исследуемых площадей и объектов с повышением достоверности оценок ресурсов недр, что отвечает общеизвестному ряду категорий прогнозных ресурсов: $P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$. Количественная оценка ПР — завершающий результат каждой стадии (подстадии) геологоразведочных работ, начиная с регионального геологического изучения и прогнозирования полезных ископаемых (категории P_3 , P_2), поисковых работ (категории P_2 , P_1) и кончая оценочными работами (категории P_1 , C_2).

В общем плане прогнозные ресурсы категории P_3 (P_2) служат основой для постановки целевых поисковых работ, P_2 (P_1) — поисков и оценки объектов, P_1 (C_2) — включения объектов с положительными геолого-экономическими показателями в программы лицензирования. В силу вероятностного характера экспертных и аналоговых способов оценки прогнозных ресурсов при получении новой информации должна проводиться их корректировка с уточнением качественно-количественных и геолого-экономических параметров.

Оптимизированные задачи на современном этапе программно-целевого управления фондом недр и воспроизводства МСБ, заключаются в эффективности использования бюджетных средств для выявления и оценки объектов, в основном, с прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 , прошедшими соответствующий геолого-экономический фильтр и показавшими положительные инвестиционные параметры, требуют не пятилетней, а ежегодной корректировки оценки ПР по завершенным объектам геологораз-

ведочных работ и проведения систематического мониторинга на базе ГИС-технологий, баланса состояния и движения прогнозных ресурсов.

Главными задачами мониторинга ресурсной базы являются: повышение мобильности системы прогнозных ресурсов – запасы, ускорение геологоразведочного процесса на программно-целевой основе с формированием поискового задела для воспроизводства ликвидного фонда недропользования, создание объективных основ для аудита ресурсов и запасов, подготовку «фонда месторождений будущих поколений».

Для реализации поставленных задач и требований времени в рамках государственного контракта АТ-03-28/855 на 2004–2006 гг. осуществляется разработка системы мониторинга прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых.

По состоянию на 2005 г. ЦНИГРИ совместно с отраслевыми институтами — ВИМС, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ЦНИИгеолнеруд проведена апробация прогнозных ресурсов по 40 видам твердых полезных ископаемых (ТПИ), исключая топливно-энергетические.

Информационным обеспечением мониторинга прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых на 1 января 2005 являются:

прогнозные ресурсы категории P_3 по завершенным листам ГСР-200, прошедшим НРС Роснедра в 2003–2004 гг. и дополнительно оцененные профильными научно-исследовательскими институтами в 2003–2004 гг.;

прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1 , апробированные профильными научно-исследовательскими институтами по завершенным в 2003–2004 гг. геологоразведочным работам за счет федерального бюджета и внебюджетных источников, а также по объектам, включенным в программы лицензирования.

По состоянию на 1 января 2005 г. в системе учета прогнозных ресурсов находится свыше 2000 объектов (2024) по 40 видам твердых полезных ископаемых. Мониторинг заключается в переоценке объектов с утвержденными на 1 января 2003 г. прогнозными ресурсами, по которым в 2003–2004 гг. завершены геологоразведочные работы, и выводе состояния прогнозных ресурсов по этим объектам на 1 января 2005 г. Эта принципиальная система сохраняется на 2005 г. и последующие годы.

Результаты апробации прогнозных ресурсов отображаются в соответствующих таблицах по категориям ресурсов, субъектам федерации, федеральным округам и России в целом.

Прогнозные ресурсы подразделяются на фонд распределенный и нераспределенный, который подразделяется на ресурсы, включенные в федеральные программы и резерв.

Степень вовлеченности прогнозных ресурсов разных категорий в распределенный и нераспределенный фонд и, соответственно, их реализация по выполнению мероприятий Долгосрочной программы показаны на рисунках 1–3.

На рис. 1 видно, что вовлеченность ресурсов категории P_3 в производство геологоразведочных работ достаточно высокая как за счет средств федерального бюджета, так и внебюджетных инвестиций для алмазов, золота, МПГ, никеля, железных и хромовых руд.

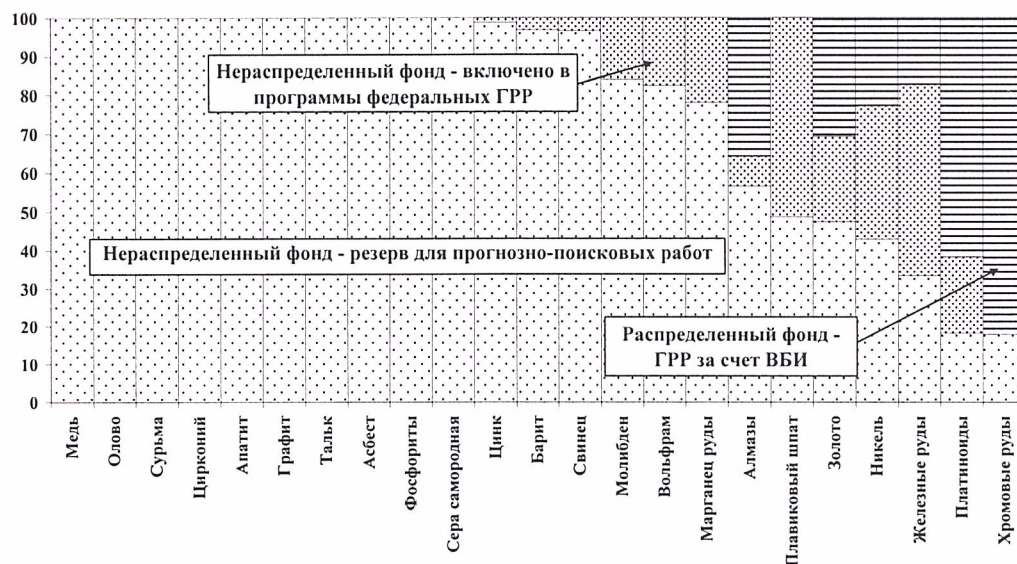


Рис. 1. Вовлеченность прогнозных ресурсов категории P_3 в геологоразведочные работы

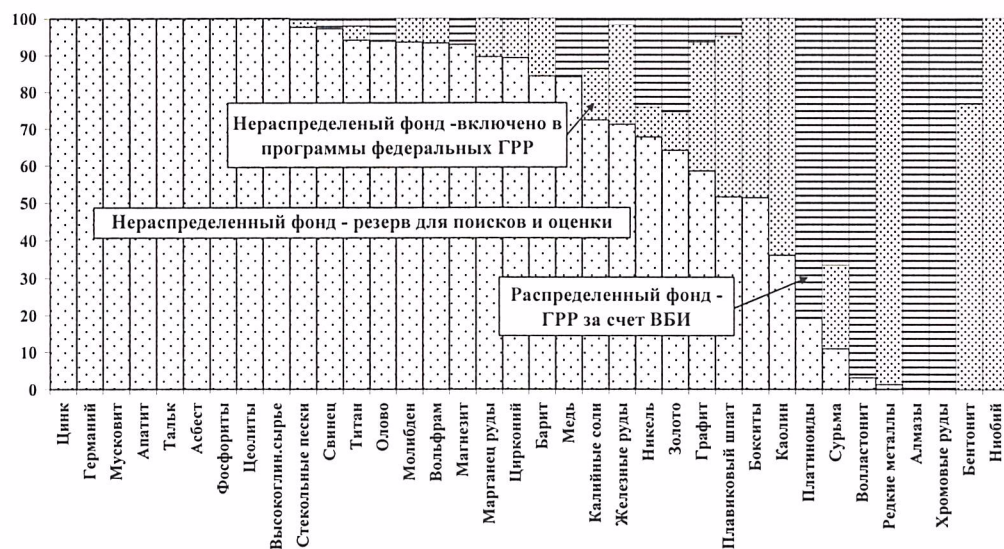


Рис. 2. Вовлеченность прогнозных ресурсов категории P_2 в геологоразведочные работы

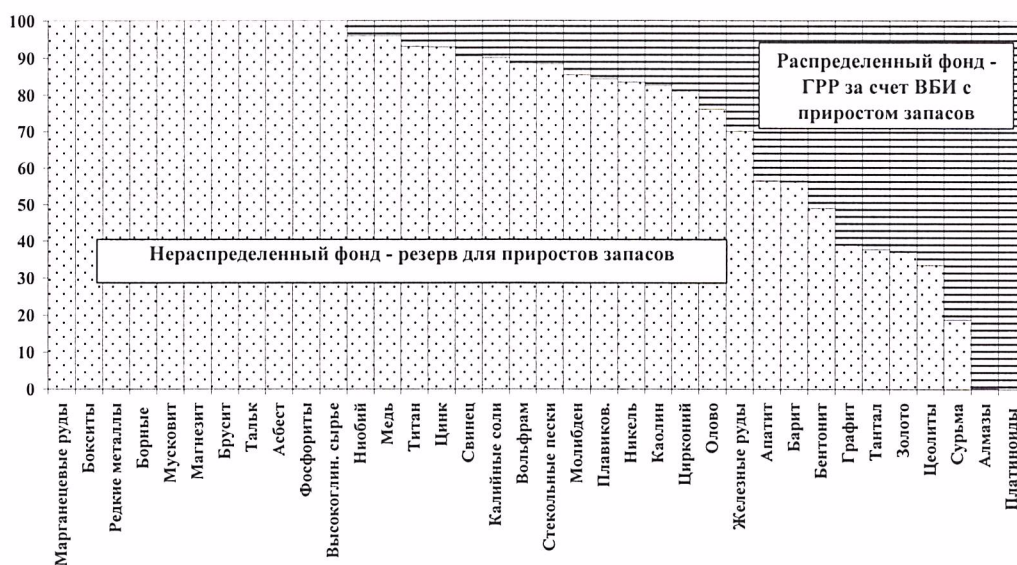


Рис. 3. Вовлеченность прогнозных ресурсов категории P_1 в геологоразведочные работы

Реализация ресурсов категории P_3 за небольшим исключением (алмазы, фосфориты, хромовые руды) не привела к соответственному увеличению категории P_2 , но все же сохраняется вероятность выявления объектов с прогнозными ресурсами категории P_2 для включения в программы лицензирования. Одновременно необходимо усиление целевых прогнозно-минерагенических работ масштаба 1:200 000 для выявления новых площадей с прогнозными ресурсами категории P_3 , в т.ч. и с новыми нетрадиционными типами месторождений. Также высок уровень вовлеченности в геологоразведочные работы через текущие программы и лицензирование прогнозных ресурсов категории P_2 , пополнение которых при реализации в категорию P_1 , возможно за счет реализованных ресурсов категории P_3 . В этой группе значительная доля средств расходуется из внебюджетных источников и здесь требуется соответствующий контроль за исполнением лицензионных соглашений. Количественная оценка ресурсов категории P_2 большинства видов полезных ископаемых достаточна для формирования ликвидного фонда объектов недропользования за исключением алмазов, хромовых руд, редких металлов и некоторых других твердых полезных ископаемых (см. рис. 2). Значительная часть прогнозных ресурсов категории P_1 (см. рис. 3) по алмазам, МПГ, золоту сосредоточены в распределенном фонде при значительном уровне вовлекаемости в геологоразведочные работы за счет средств внебюджетных источников. Эта группа полезных ископаемых обеспечивает решение проблемы простого и расширенного воспроизводства минерально-сырьевой базы в части выполнения мероприятий Долгосрочной программы и поэтому требует систематического контроля за выполнением лицензионных соглашений. Для группы полезных ископаемых (алмазы, МПГ, сурьма и др.), где резерв нераспределенного фонда невысок, необходимо усиление прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ для его восполнения.

Резерв по золоту для прогнозно-поисковых (категория P_3), поисково-оценочных (категория P_2) работ составляет соответственно 47,3 и 37,1%, для никеля 42,9 и 83,5%.

Воспроизводство минерально-сырьевой базы осуществляется как за счет средств федерального бюджета путем включения объектов нераспределенного фонда недр с утвержденными прогнозными ресурсами в федеральные годовые программы геологоразведочных работ, так и за счет средств недропользователей путем включения объектов нераспределенного фонда с утвержденными прогнозными ресурсами и неучтенных объектов с неутвержденными прогнозными ресурсами в программы лицензирования пользования недрами. За период 2003–2005 гг. в федеральные программы включено в среднем по Российской Федерации 18,1% утвержденных прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых от нераспределенного фонда недр (табл. 1). По семи видам полезных ископаемых (платиноиды, тантал, ниобий, редкоземельные металлы, бентонит, плакиковый шпат, каолин) эта величина превышает 30% и более; по 21 виду полезных ископаемых в федеральные программы включено менее 10% утвержденных прогнозных ресурсов нераспределенного фонда недр; по наиболее ликвидному виду полезного ископаемого — коренному золоту — в федеральные программы включено 20,2% утвержденных ресурсов.

**1. Количество прогнозных ресурсов по видам твердых полезных ископаемых,
включенных в федеральные программы, в % от нераспределенного фонда по РФ**

Полезное ископаемое	Федеральные округа							
	Цен- траль- ный	Северо- Запад- ный	Юж- ный	При- волж- ский	Ураль- ский	Сибир- ский	Дальне- Вос- точный	Всего по РФ
1. Алмазы	10,4	1,6	—	—	—	—	—	12,0
2. Золото	—	0,1	1,0	1,0	2,1	2,8	13,2	20,2
3. Металлы платиновой группы	—	33,7	—	—	—	—	—	33,7
4. Медь	—	—	—	4,1	1,1	1,4	—	6,6
5. Никель	—	—	—	—	—	19,4	—	19,4
6. Свинец	—	—	1,1	—	—	—	—	1,1
7. Цинк	—	—	0,4	—	—	—	—	0,4
8. Железные руды	1,6	0,2	—	0,8	0,3	3,2	—	6,1
9. Марганцевые руды	—	—	—	—	—	12,0	—	12,0
10. Хромовые руды	—	—	—	—	—	—	—	—
11. Титан	—	—	2,0	—	—	—	—	2,0
12. Вольфрам	—	—	—	—	—	—	11,4	11,4
13. Молибден	—	—	—	3,0	2,1	10,3	—	15,4
14. Тантал	—	—	—	—	—	100,0	—	100,0
15. Ниобий	—	—	—	—	—	95,4	—	95,4
16. Бокситы	—	24,3	—	—	—	—	—	24,3
17. Олово	—	—	—	—	—	—	—	—
18. Сурьма	—	—	—	—	—	8,1	—	8,1
19. Цирконий	—	—	10,5	—	—	—	—	10,5
20. Германий	—	—	—	—	—	—	—	—
21. Редкоземельные металлы	—	—	—	—	—	98,4	—	98,4
22. Барит	—	—	—	—	—	11,0	—	11,0
23. Борные руды	—	—	—	—	—	—	—	—
24. Тальк	—	—	—	—	—	—	—	—
25. Бентонит	—	—	72,5	—	—	9,8	4,9	87,2
26. Плакиковый шпат	—	—	—	1,1	—	38,5	—	39,6
27. Сера самородная	—	—	—	—	—	—	—	—
28. Слюда мусковит	—	—	—	—	—	—	—	—
29. Асбест	—	—	—	—	—	—	—	—
30. Калийные соли	—	—	—	11,3	—	—	—	11,3
31. Апатиты	—	—	—	—	—	—	—	—
32. Фосфориты	—	—	—	20,4	—	—	—	20,4
33. Магнетит	—	—	—	—	—	—	—	—
34. Брусит	—	—	—	—	—	—	—	—
35. Графит	—	—	—	—	27,3	—	—	27,3
36. Каолин	—	—	—	47,3	—	—	—	47,3
37. Стекольные пески	—	—	—	1,2	—	—	—	1,2
38. Волластонит	—	—	—	—	—	—	—	—
39. Цеолиты	—	—	—	—	—	—	—	—
40. Высококальиное полевошпатовое сырье	—	0,7	—	—	—	—	—	0,7
Всего по РФ								18,1

За этот же период из 159 объектов по коренному золоту, включенных в программы лицензирования, 133 объекта (83,6%) не имеют утвержденных прогнозных ресурсов, а по 40 видам полезных ископаемых из неполной выборки из 215 объектов по 182 объектам (84,6%) апробация прогнозных ресурсов не проводилась (табл. 2).

Невысокий процент вовлечения резервных объектов нераспределенного фонда в геологоразведочный процесс пока не понятен и требует дополнительного анализа. Возможно, одной из причин слабой востребованности этих объектов является их низкая инвестиционная привлекательность из-за небольших масштабов, что не представляет интереса для крупных горнодобывающих компаний.

По алмазам, благородным (золото, металлы платиновой группы), цветным (медь, никель, свинец, цинк) металлам от 54 до 100% объектов, находящихся в резерве, мелкие и средние по масштабу. Объекты с неутвержденными прогнозными ресурсами, включаемые в программы лицензирования выпадают из сферы учета и мониторинга.

Анализ результатов реализации программных мероприятий в 2005 г. по твердым полезным ископаемым по Российской Федерации свидетельствует о том, что положительные данные (увеличение) по воспроизводству прогнозных ресурсов по итогам завершенных геологоразведочных работ получены по 11 видам твердых полезных ископаемых из 40.

По золоту прирост ресурсов категории P_1 , из которой происходит основная реализация запасов, в пересчете на условную категорию C_2 , только на 41,4% перекрывает добычу за 2003–2004 гг., по Cu на 1,3%, Pb 36,2% (табл. 3). Это свидетельствует о необходимости усиления и повышения эффективности прогнозно-металлогенических и поисково-оценочных работ.

В современных условиях эффективное управление фондом недр не возможно без привлечения современных компьютерных систем баз и банков данных, позволяющих проводить оперативную корректировку информации, ее поиск и анализ для принятия решений в сфере недропользования.

В результате проведенных работ разработаны программно-технологические средства информационно-аналитической компьютерной системы «Минерально-сырьевые ресурсы России». Основа системы — банк данных «Прогнозные ресурсы». В основе системы лежит понятие базы данных как совокупности таблиц, связанных общими атрибутами и метаданных, описывающих свойства таблиц, атрибутов и связей.

При проектировании реляционной структуры данных, выделении таблиц и определении ключевых полей использовалась иерархическая классификация — классификационная система, в которой понятия распределены по классам в соответствии с иерархическими отношениями подчинения и соподчинения. Хранение данных при использовании такой структуры исключает аномалии вставки, удаления, редактирования и обеспечивает целостность данных базы.

2. Число объектов, включенных в перечни участков недр для лицензирования пользования недрами в 2003-2005 гг.

Полезное ископаемое	Федеральные округа							
	Цен- траль- ный	Северо- Западный	Юж- ный	При- волж- ский	Ураль- ский	Си- бир- ский	Дальне- Восточный	Всего по РФ шт. %
1. Алмазы				1/0		6/5	1/0	8/5 62,5
2. Золото		5/2		3/1	8/6	66/55	77/69	159/133 83,6
3. Металлы плати- новой группы		1/1			1/1	2/2	1/1	5/5 100
4. Медь					2/2	2/2	4/4	8/8 100
5. Никель		4/4				1/1		5/5 100
6. Свинец					1/1			1/1 100
7. Цинк					1/1			1/1 100
8. Железные руды				1/0	2/2		1/1	4/4 100
9. Марганцевые руды					1/1	5/5		6/6 100
10. Хромовые руды					2/2	2/2		4/4 100
11. Титан						1/1		1/1 100
12. Вольфрам							1/0	1/0 0
13. Молибден								
14. Тантал								
15. Ниобий								
16. Бокситы				1/0				1/0 0
17. Олово								
18. Сурьма								
19. Цирконий						1/0		1/0 0
20. Германий								
21. Редкоземельные металлы						1/0		1/0 0
22. Барит					1/1			1/1 100
23. Борные руды								
24. Тальк								
25. Bentonит						1/1		1/1 100
26. Плавленый шпат								
27. Сера самородная								
28. Слюда мусковит						2/0		2/0 0
29. Асбест								
30. Калийные соли						1/1		1/1 100
31. Апатиты								
32. Фосфориты						1/1		1/1 100
33. Магnezит						1/0		1/0 0
34. Брусит								
35. Графит								
36. Каолин								
37. Стекольные пес- ки					1/1			1/1 100
38. Волластонит								
39. Цеолиты						1/1		1/1 100
40. Высококалийное полевошпат. сырье								
Всего по РФ								215/182 84,6

Примечание. Число объектов: числитель — всего, знаменатель — в т.ч. с неутвержденными прогнозными ресурсами

**3. Результаты реализации программных мероприятий в 2005 г.
по твердым полезным ископаемым Российской Федерации**

Полезные ископаемые	Полученные положительные результаты по воспроизводству прогнозных ресурсов по итогам завершенных ГРП			Р ₁ в услов- ной кат. С ₂	Добыча 2003– 2004 гг.	Условная кат.С ₂ / Добы- ча, %
	Прогнозные ресурсы категорий					
	Р ₃	Р ₂	Р ₁			
1. Алмазы, млн. карат	60	63,55	–	–	–	–
2. Золото, т	–	609,2	153,9	76,95	185,71	41,4
3. Металлы платиновой группы, т	–	–	–	–	–	–
4. Медь, тыс. т	–	–	40	20	1498,3	1,3
5. Никель, тыс. т	–	–	–	–	–	–
6. Свинец, тыс. т	–	–	56	26	71,8	36,2
7. Цинк, тыс. т	–	–	–	–	–	–

Для стандартизации ввода и хранения информации разработана система иерархических словарей-классификаторов, с помощью которых заполняются соответствующие поля на основе соответствующих кодов. Такой подход позволяет организовать быстрый поиск информации по любому из разделов банка.

Организациями-хранителями геологической информации предусматриваются 53 территориальных информационных фонда, находящихся в субъектах Федерации. Кроме того, в пяти фондах: Нижегородском, Новосибирском, Ростовском, Свердловском, Центральном, Северо-Западном должна храниться информация в целом по Федеральным округам, соответственно — Приволжскому, Сибирскому, Южному, Уральскому, Центральному и Северо-Западному. Учитывая сложившуюся организационную структуру информационных фондов, целесообразно процедуры хранения, обновления и использования информации по прогнозным ресурсам проводить на базе существующих фондов с учетом распределения прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых по субъектам Федерации и Федеральным округам. Информационные центры целесообразно создавать в тех регионах, где будут храниться и обновляться большой массив пообъектных данных с прогнозными ресурсами. Информационные центры также целесообразно создать на базе отраслевых научно-исследовательских институтов, осуществ-

ляющих систематическую апробацию ресурсов соответствующих видов полезных ископаемых.

Полная информация по прогнозным ресурсам будет содержаться в Росгеолфонде. Эффективный ежегодный мониторинг прогнозных ресурсов возможен при условии, что все информационные центры будут функционировать в единой информационно-аналитической системе и обеспечивать обновление (апробацию) прогнозных ресурсов для разработки и корректировки направлений геологоразведочных работ с целью воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Результаты мониторинга прогнозных ресурсов сопровождаются прогнозно-металлогеническими картами перспективности территории Российской Федерации и очередности геологоразведочных работ по каждому виду полезного ископаемого и по каждой категории прогнозных ресурсов (P_3 , P_2 , P_1).

В целом ресурсная база алмазов, благородных и цветных металлов обеспечивает решение задач, определенных Долгосрочной программой до 2020 г. в части обеспечения сбалансированного развития и использования минерально-сырьевой базы для удовлетворения потребности экономики страны в минерально-сырьевых ресурсах:

- по укреплению и расширению сырьевых баз за счет выявления новых перспективных районов (золото, МПГ, алмазы никель и др.);

- по выявлению новых сырьевых баз с целью снижения импортной зависимости ряда ключевых отраслей промышленности и экономики (свинец, бокситы, марганец и др.);

- по поддержанию мощностей отдельных недостаточно обеспеченных, но социально и геополитически важных, добывающих предприятий.

ЭКСПРЕССНАЯ ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ (ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ГОРНОРУДНЫМ ПРОЕКТАМ)

И.А.Августинчик, Л.Ф.Мызенкова (ЦНИГРИ)

Настоящая статья подготовлена по материалам группы отдела конъюнктуры минерального сырья ЦНИГРИ, проводящей в течение ряда лет исследования в области мониторинга и анализа мировой конъюнктуры алмазов, благородных и цветных металлов.

XX век и начало нового тысячелетия были насыщены многочисленными и бурными событиями и явлениями во всех областях деятельности человеческой цивилизации: социальной, экономической, технической, научной, культурной и природопользовательской. В сырьевом секторе этот период отмечен неуклонным ростом спроса на минерально-сырьевую продукцию, что привело к резкой интенсификации рудничного производства минерального сырья и его производных — топливно-энергетического сырья, минеральных строительных материалов, металлов, удобрений, минеральной химической продукции и др. [8, 9]. Рост производства и потребления определяют, как известно, демографические процессы [1, 12]. За весь XX и начало XXI века масштабы роста мирового рудничного производства черных, цветных и благородных металлов и потребления топливно-энергетического сырья составили: по Al >3 порядков, по хрому, газу, нефти > 2 порядков, по Ni, МППГ 2 порядка, по прочим металлам и углю 1–2 порядка. Эти динамичные изменения нарушались только катастрофами мирового масштаба (первая и вторая мировые войны и экономический кризис 1929–1933 гг.).

Рост добычи и потребления минерального сырья и металлов требует постоянного пополнения их минерально-сырьевой базы. Однако, состояние мировой минерально-сырьевой базы не безоблачно. Так, для благородных и цветных металлов, число открытий месторождений в год уменьшается, качество руд эксплуатируемых месторождений — снижается [7], несмотря на мировые усилия в прогнозно-поисковой сфере изучения месторождений, широкий фронт геологоразведочных работ и долговременный рост номинальных мировых цен на металлы.

С состоянием минерально-сырьевой базы тесно связана обеспеченность добычи запасами минерального сырья, которая определяет возможности устойчивого развития экономики. Изменчивые соотношения баланса спроса и предложения на минеральное сырье и металлы на мировом рынке подвержены значительным колебаниям под влиянием множества факторов. Анализ ретроспективы обеспеченности мировой добычи сырьем благородных и цветных металлов за 1970–2003 гг. выявляет разнотипную динамику. За рассмотренный период показатели обеспеченности прошли через максимумы и спады, но явно снизились только для никеля. Для Au, МППГ и Cu обеспеченность имеет один ярко выраженный максимум, приходящийся на разные годы, для Ag, Zn и Ni — циклический вид с двумя или несколькими максимумами. Эти колебания связаны

с открытиями месторождений, достижениями в области извлечения металлов (кучное выщелачивание из крупных объемов бедных руд, технологии экстракции из растворов и электроосаждения, SX-EW, для руд золота и меди, активное вовлечение в промышленное производство скрапа свинца, цинка и других металлов, и некоторые другие процессы). Все эти явления приводят к периодическим изменениям соотношения мировых объемов запасов и рудничного производства и колебаниям обеспеченности. Тем не менее, человечество находило и находит возможности поддерживать обеспеченность добычи металлов их запасами, и только лишь за последнее десятилетие положение с обеспеченностью по всем металлам стало резко ухудшаться.

Подобное положение можно изменить, и одним из *важнейших факторов* улучшения мировой ситуации по сырьевым ресурсам цветных и благородных металлов является повышение объема инвестиций на геологоразведочные работы. Рост в 2000-х годах суммарных мировых затрат на геологоразведочные работы по алмазам, благородным и цветным металлам, почти достигший максимума 1997 г., показан на рис. 1. Такой рост следует за относительным подъемом мировых цен на большинство благородных и цветных металлов в начале 2000-х годов (особенно высоким для платины). Агентство Metals Economic Group (Великобритания) в ежегодном обзоре по расходам на геологоразведочные работы оценивает их объемы на 2005 г. на уровне 5,1 млрд. долл. Около половины из них приходится на юниорные компании [13].

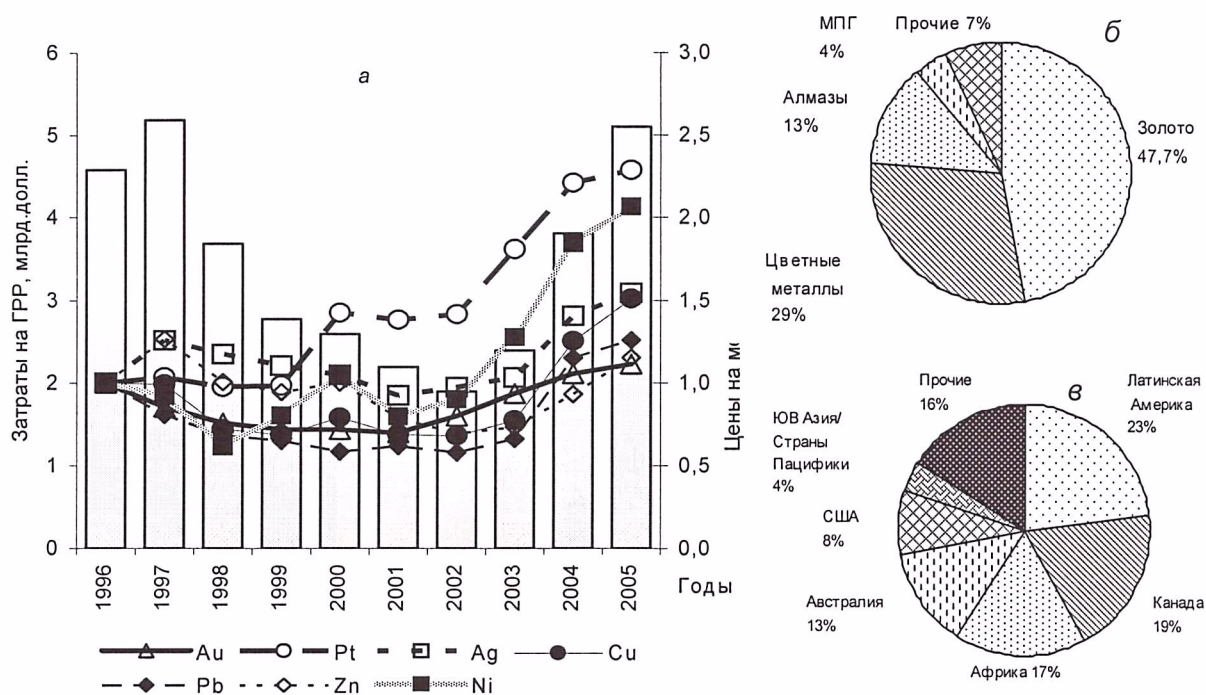


Рис. 1. Суммарные мировые затраты на ГРП на цветные металлы, динамика мировых цен на благородные и цветные металлы (1996 = 1) (а), и структура мировых затрат на ГРП в 2005 г. по видам сырья (б) и регионам мира (в) (по 13, с дополнениями)

В структуре затрат на геологоразведочные работы по металлам в 2005 г. отдавалось предпочтение золоту — 47,7%, (в 2000–2003 гг. доминировали инвестиции на медь), за

которым следуют цветные металлы 29% и алмазы 13%. Ведущее место по затратам занимает Латинская Америка 23%, за ней следуют Канада 19% и Африка 17%.

Другой важнейший фактор — подготовка мировых горнорудных проектов освоения новых или ранее законсервированных минерально-сырьевых объектов — главный путь обеспечения металлами мировой промышленности на ближне- и среднесрочную перспективу. В существующих схемах процессов выявления, оценки, подготовки и добычи минерального сырья [6, 11 и др.] подготовка горнорудных проектов относится к стадиям оценки и подготовки к эксплуатации уже оконтуренных месторождений, принятия решения о начале производства и строительства горнорудных предприятий. Для этого периода характерны минимизация рисков неточной оценки масштабов месторождения, возрастание затрат на проведение технико-экономического обоснования, строительство и создание инфраструктуры будущего горнорудного предприятия.

Мониторинг состояния и развития мировой минерально-сырьевой базы проведен на основе систематизации и анализа ретроспективной и текущей информации [3]. Для оценки перспектив освоения минерально-сырьевой базы собраны и проанализированы геолого-экономические показатели по 230 проектам по золоту (79 проектов), МПГ (11 проектов), серебру (19 проектов), меди (45 проектов), свинцу и цинку (31 проект), никелю и кобальту (35 проектов) со сроками освоения 1995–2005 гг. По каждому из них изучены и проанализированы данные о геологической обстановке и геолого-промышленных типах месторождений, запасах и средних содержаниях в рудах главных и попутных металлов, способах отработки, производительности рудника по руде и металлу, технологических способах переработки руд, капиталовложениях на подготовку добывающего предприятия, проектных производственных издержках по основному металлу, годе пуска и сроке эксплуатации предприятия и др.

Суммарные запасы по проектам для каждого из металлов обеспечивают (по состоянию на 2000 г.) примерно 4-кратный годовой объем добычи Au, 10-кратный — МПГ, 5,5-кратный — Ag, 19-кратный — Cu, 15-кратный — Zn, 24-кратный — Ni. Таким образом, эти данные позволяют ориентировочно оценить развитие мировой минерально-сырьевой базы на краткосрочную — среднесрочную перспективу, а распределение капиталовложений по металлам — текущие приоритеты и ранжирование инвестиций: на Cu (около 30 млрд. долл.), Au (14,6 млрд. долл.) и Ni (около 11 млрд. долл.).

Спектр масштабов и геолого-промышленных типов проектных объектов по благородным и цветным металлам чрезвычайно широк. Среди крупных золоторудных объектов (Au > 100 т) вулcano-плутонических поясов — медно-порфировые месторождения — Серро Касале (Чили), Алумбрера (Аргентина), Бату Хайджау (Индонезия), Лас Кристинас (Венесуэла) и другие, месторождения штокверков и минерализованных зон — Паскуа-Лама (Чили – Аргентина), Лихир (Папуа-Новая Гвинея), Пиерина и Янакоча (Перу). В такую же категорию попадают и крупнейшие объекты минерализованных и жильных зон зеленокаменных поясов — Бульяххулу и Гейта (Танзания), Уанду (Австралия), Морила, Садиола и Сиама (Мали). К этой же группе относятся объекты минера-

лизированных зон, штокверков и жильных зон терригенно-карбонатных комплексов миогеосинклиналей — Пайплайн, Мейкл, Форт Нокс и Аляска-Джуно (США) и единственный объект в золото-урановых конгломератах — Тарква (Гана). Суммарные запасы золота по всем проектам составляют 8335,8 т.

Платиноносные проекты представлены двумя важнейшими геолого-промышленными типами — собственно платиновым (малосульфидным) расслоенных базит-гипербазитовых комплексов рифтовых геодинамических обстановок (объекты двух комплексов — Бушвельдского и Великой Дайки) и сульфидными платиносодержащими Ni-Cu объектами (Рэглан, Канада и Норсмет, США). Суммарные запасы МПГ по проектам 2475,4 т.

Горнорудные проекты по серебру представлены, как можно было ожидать, широким набором геолого-промышленных типов от золотосеребряных месторождений типа штокверков и минерализованных зон вулканоплутонических поясов (Паскуа-Лама, Чили-Аргентина) до различных свинцово-цинковых месторождений, в т.ч. сереброполиметаллических (Сан-Кристобаль, Мексика), колчеданно-полиметаллических в терригенных толщах (Кеннингтон, Австралия), колчеданно-медно-цинковых (Хайула Тесорера, Боливия и Антамина, Перу), свинцово-цинковых в карбонатных толщах (Сан-Грегорио, Перу), свинцово-цинковых стратиформных (Леди Лоретта, Австралия), минерализованных зон в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей (Беренгуэла, Перу) и др. Суммарные запасы серебра по проектам составляют 97498 т. Среди горнорудных проектов по меди преобладают по количеству и запасам меднопорфировые месторождения — крупнообъемные объекты с низкими содержаниями меди в рудах (Андина, Эль-Тениенте, Эскондида, Кольяуаси, Чили). В числе крупных объектов — медистые песчаники (Конкола Дип, Чибулума, Замбия), колчеданные медно-цинковые (Антамина, Перу), колчеданно-полиметаллические (Ашеле, Китай) и др. Суммарные запасы меди по проектам 243,7 млн.т.

Свинцово-цинковые проекты представлены различными геолого-промышленными типами, среди которых крупнейшие — колчеданно-полиметаллические (Ланьпинь, Китай и Мак Артур Ривер, Австралия), колчеданные медно-цинковые (Антамина, Перу), колчеданно-полиметаллические в терригенных (Маунт Айза и Джорж Фишер, Австралия) и вулканогенных толщах (Сан Кристобаль, Боливия), свинцово-цинковые стратиформные (Сенчури, Австралия, и Гамсберг, ЮАР) и ряд других типов. Суммарные запасы цинка по проектам 94,6 млн.т.

Наконец, среди крупнейших горнорудных проектов по никелю — оба ведущих геолого-промышленных типа: оксидно-силикатный в латеритах (Туба-Бианконума, Кот-д-Ивуар; Сороако, Индонезия; Нонок, Филиппины) и сульфидный медно-никелевый (Ханимун Уэлл, Якабинди, Австралия; Войсиз Бей и Рэглан, Канада). Суммарные запасы никеля по проектам 18,6 млн.т.

По результатам расчета обобщенных геолого-экономических характеристик проектных предприятий построена диаграмма, где показаны приведенные капиталовложения

на 1 т добываемой руды в год и годовая производительность по руде (рис. 2). Анализ ее указывает на связь между изученными параметрами в форме *многозначной обратной функциональной зависимости* вида: $Y = C/x$, где x — приведенные годовые капиталовложения на 1 т руды, долл./т руды в год; Y — проектная годовая производительность предприятия по руде, млн.т; C — объем капиталовложений в проект, млн. долл.

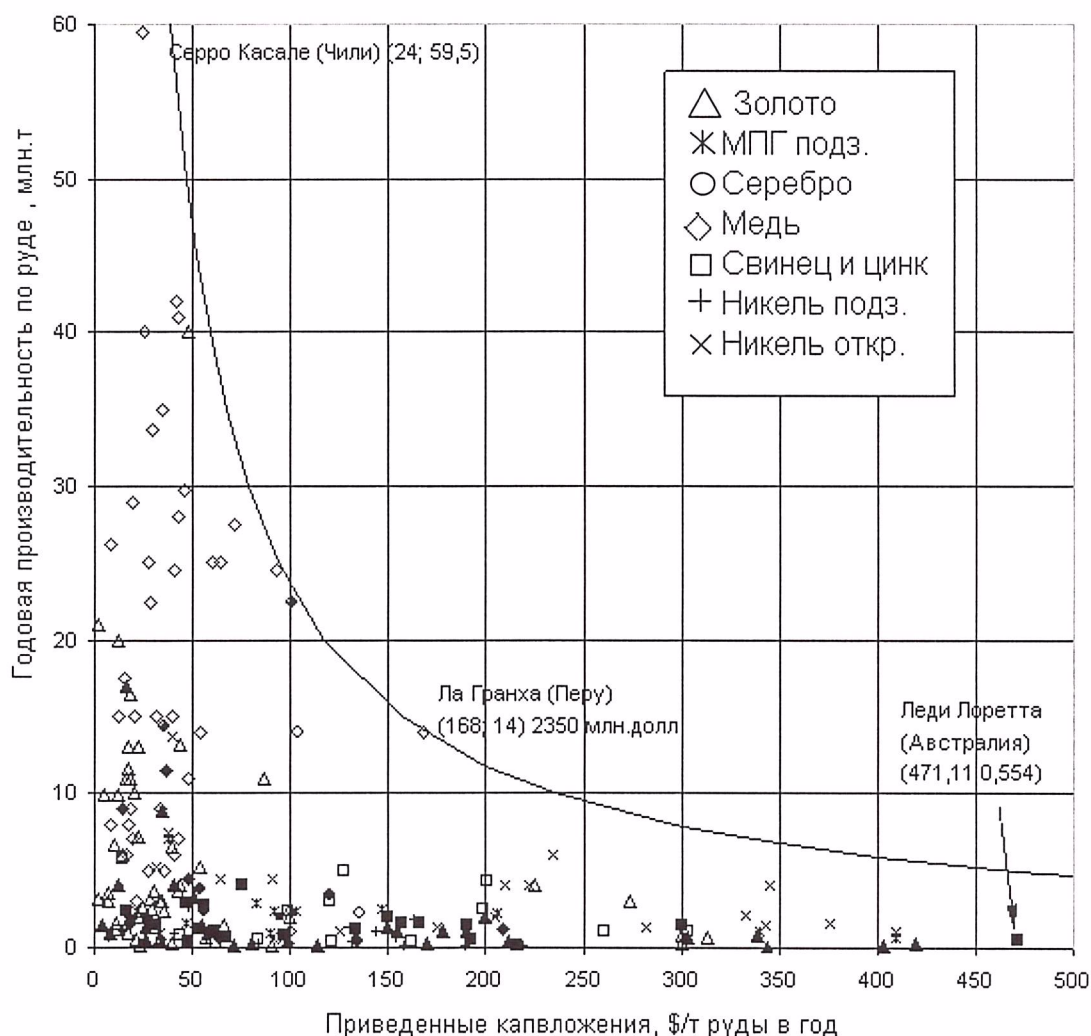


Рис. 2. Мировые горнорудные проекты по благородным и цветным металлам со сроком освоения 1995–2005 гг.:

залитые знаки — подземная, полые — открытая отработка

Эта зависимость не является строгой, так как допускаются колебания одной из характеристик при фиксированном значении другой. Выявление, исследование и практическое использование подобных многозначных зависимостей при анализе социально-экономических процессов — в последние десятилетия новый предмет пристального внимания социологии, что позволяет моделировать подобные процессы [5]. Применительно к геолого-экономическим процессам такие закономерности практически не изу-

чены, но, как показывают полученные результаты, дают возможность моделировать условия и некоторые параметры освоения минерально-сырьевых ресурсов.

Пространство поля точек диаграммы отражает спектр возможных комбинаций параметров горнорудных проектов, приемлемых в реальной обстановке конъюнктуры мирового рынка при освоении конкретных минерально-сырьевых объектов. Производство этих параметров характеризует уровень капиталовложений в каждый осваиваемый объект.

Анализ диаграммы (см. рис. 2) показывает, что установленные закономерности и каждый параметр изученной зависимости можно использовать для оперативной экспрессной оценки новых минерально-сырьевых объектов и капиталовложений на их освоение. В этом случае реальные мировые проекты освоения месторождений являются модельными (эталонными) объектами с априорно рентабельными схемами освоения при всей их многовариантности [4]. В данном случае диаграмму можно рассматривать как номограмму для экспрессной оценки возможных параметров новых объектов (горнорудных предприятий) на месторождениях, предполагаемых или предназначенных к освоению — годовой производительности по руде, капиталовложений, приведенных капиталовложений на 1 т руды в год и других, в определенных условиях состояния мирового рынка металлов. Различные варианты такой оценки представлены на модельных диаграммах (рис. 3).

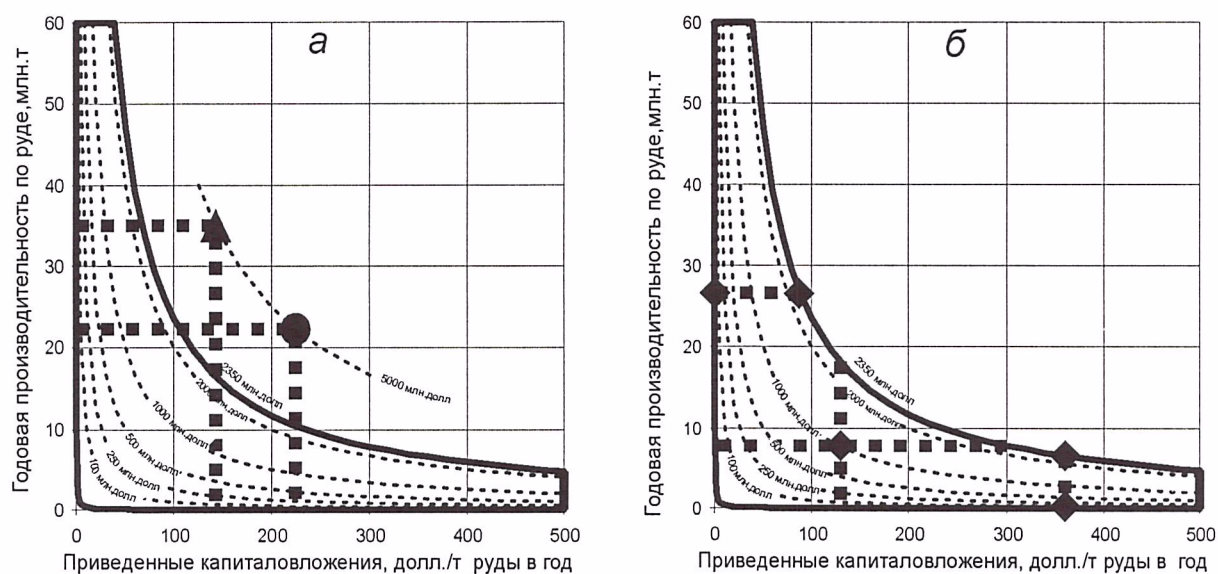


Рис. 3. Варианты экспрессной оценки капиталовложений и других параметров предполагаемых для освоения объектов МСБ (благородные и цветные металлы):

а — неблагоприятная оценка (возможна в случаях, когда предполагаемые капиталовложения недостаточны или превышают граничные показатели для прибыльных проектных предприятий); б — благоприятная оценка (возможна в случаях, когда планируемые капиталовложения находятся в поле показателей прибыльных проектных предприятий)

Графическое представление данных позволяет проводить приближенную оперативную оценку параметров освоения любых горнорудных объектов, находящихся на конечных стадиях геологоразведочных работ и еще не прошедших всех стадий оценки, с

учетом вероятных геолого-промышленных типов, способов отработки, ценностных качеств руд и др.

В качестве примеров экспрессной оценки возможностей освоения российских сырьевых объектов были выбраны месторождения, геолого-экономическая информация по которым появлялась в российской и зарубежной сырьевой печати: Сухой Лог (месторождения в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей) с запасами Au ~1540 т, Купол (жильные и минерализованные зоны вулканоплутонических поясов) — Au ~150, Ag ~1800 т, Удокан (стратиформные месторождения в медистых песчаниках) — Cu ~306 тыс. т, Озерное (колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенно-осадочных толщах): Zn — 6,9 млн. т, Pb — 1,3 млн. т, Ag ~4000 т.

Ориентировочные показатели возможных проектов на диаграмме (рис. 4) свидетельствуют, что все они попадают в поле объектов рентабельных для отработки (по состоянию на 2000 г.). Положения точек месторождений Озерного (известны капиталовложения и ориентировочная годовая производительность по руде) и Купол близки к нижней границе рентабельных годовых объемов добычи руды. Проекты Сухой Лог и Удокан по своим геолого-экономическим показателям находятся в удовлетворительном положении в поле рентабельных объектов.

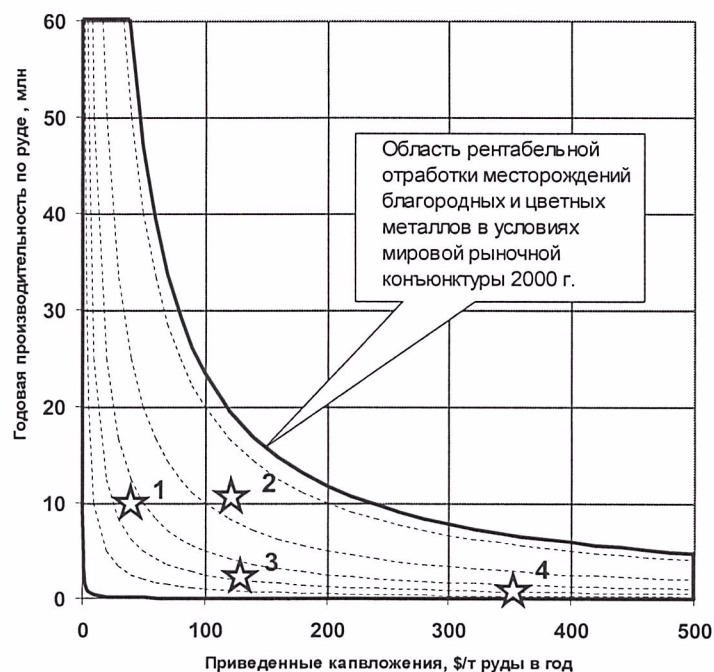


Рис. 4. Примеры экспрессной оценки российских горнорудных проектов по благородным и цветным металлам на основе модельных данных по зарубежным проектам

1 — проект Удокан (Читинская обл): капиталовложения 400 млн.долл, производство руды 10 млн.т/год, приведенные капиталовложения 40 долл./т руды в год; 2 — проект Сухой Лог (Иркутская обл.): капиталовложения 1240 млн.долл, производство руды 11 млн.т/год, приведенные капиталовложения 113 долл./т руды в год; 3 — проект Озерное (Бурятия): капиталовложения ~ 250 млн.долл, производство руды 2 млн.т/год, приведенные капиталовложения ~ 125 долл./т руды в год; 4 — проект Купол (Чукотка): капиталовложения 400 млн.долл, производство руды 1,05 млн.т/год, приведенные капиталовложения 365 долл./т руды в год

Однако обобщенные геолого-экономические показатели горнорудных проектов не исчерпывают основных факторов, воздействующих на принятие решения о начале производства на сырьевом объекте. Среди этих факторов важнейшими являются следующие:

геологическая характеристика месторождения, его геолого-промышленный тип и масштабы (предпочтительны крупные месторождения с комплексными рудами — с Au, МПГ, Ag и др. — с высокими ценностными показателями и выгодной ценностной структурой);

способ отработки месторождения (предпочтителен открытый способ и небольшие глубины залегания рудных тел);

геолого-экономические показатели рентабельной эксплуатации рудника (в т.ч. годовая производительность по руде и металлам, удельные годовые капитальные затраты по руде и металлам и др.);

уровень производственных издержек на основной металл при текущей конъюнктуре мирового рынка металлов (важнейший комплексный показатель, чувствительный к воздействию различных факторов, благоприятен низкий уровень).

Возможные различия суммарных ценностных характеристик руд показаны на примере крупнейших никелевых и платинометалльных месторождений [10] и могут различаться на порядок величин (табл. 1). Эти различия, наряду с масштабами месторождений, могут оказывать существенное влияние на принятие решения о производстве.

**1. Ценностные характеристики руд в недрах
некоторых магматических сульфидных месторождений [по 10]**

Месторождения	Суммарная ценность полезных компонентов руд, млн.долл.	Запасы руд, млн.т	Потенциальная ценность металлов в руде, долл./т
Норильский район, Россия	511161	1256	407
Рэглан (Канада)	7397	25	299
Овоид (Войсиз Бей)	9410	32	297
Томпсон	31296	151	212
Войсиз Бей	23781	137	174
Садбери (район)	247802	1673	148
Печенга, Россия	42757	340	125
Дзиньчуань, Китай	55195	516	107
Лак дез Иль, Канада	1723	51	34

Аналогичные или еще более существенные различия характерны и для других видов сырья благородных и цветных металлов. Например, эксплуатируемое крупное медно-порфировое месторождение Грасберг (Индонезия) содержит Au около 1900 т. Известное свинцово-цинковое месторождение Кеннингтон в Австралии (проект) — крупнейшее мировое серебряное месторождение.

Значительные различия некоторых элементов ценностной структуры руд еще более показательны, что показано в табл. 2 на примерах никелевых и платинометалльных месторождений [10]. Особенно типично месторождение Войсиз Бей в Канаде (Ni

128 млн.т) с его очень низкими содержаниями МПГ в рудах. Канадская компания Inco Ltd., по-видимому, очень рассчитывала на их высокий уровень, покупая этот новый объект в 1990-х годах за 4,5 млрд. долл. у поисковой канадской компании Diamonds Fields Resources.

2. Элементы ценностной структуры руд некоторых никелевых и платинометалльных месторождений ([10])

Месторождение	Содержание в рудах			Суммарная ценность ведущих металлов руд, долл./т руды	Относительная ценность МПГ в рудах, %
	Pt, г/т	Pd, г/т	Ni, %		
Стиллиутер (США)	4,3	15,7	0,0	255	99
Лак дез Иль (Канада)	0,2	2,4	0,0	34	93
Норильск (Россия), медистые руды)	8,6	37,9	3,4	1441	58
Садбери (Канада), медистые руды	7,8	3,4	1,4	372	36
Норильск (Россия), рядовые руды	1,9	7,7	1,8	360	34
Рэглан (Канада), проект	0,8	2,3	2,7	271	17
Садбери (Канада), в целом	0,5	0,6	1,2	133	10
Томпсон (Канада)	0,1	0,5	2,3	195	5
Войсиз Бей (Канада), проект	0,1–0,3	0,1–0,3	1,29–2,88	174	1

Способ обработки месторождения может оказывать существенное влияние на экономику горнорудного проекта. На приведенной диаграмме (см. рис. 2) это особенно заметно на примере золоторудных и медных проектов. Все объекты с открытой добычей (не залитые знаки) тяготеют к вертикальной оси и характеризуются наиболее высокими показателями годовой добычи руды. Эти же объекты имеют и низкие приведенные капиталовложения на 1 т руды. Для металлов с преимущественной подземной обработкой (МПГ, сульфидный никель) типичны более низкие объемы добычи руд и широкий спектр приведенных капиталовложений по руде. Для свинцово-цинковых месторождений (с умеренными объемами годовой добычи руд) влияние различий между открытой и подземной обработкой не установлено.

Производственные издержки на основной вид товарной продукции — важнейший показатель при освоении месторождений благородных и цветных металлов. Закономерности изменения его для различных металлов различны в связи с разной их ролью в экономике, промышленности и финансовой сфере. Примеры различной динамики производственных издержек при добыче благородных и цветных металлов показаны для ведущих стран, компаний и отдельных предприятий. В целом изменения производственных издержек ведущих стран-производителей носят различный характер. Для золота с 2002 г. рост издержек отмечается практически у всех ведущих стран-производителей, особенно в ЮАР (рис. 5, а). По цветным металлам для ряда стран и мира в целом за рассмотренный период они снизились, для других — почти неизменны, а в некоторых — повысились (см. рис. 5 б, в). Наиболее заметное снижение производственных издержек

при одновременном росте объемов производства характерно для никеля (см. рис. 5, г). Различия производственных издержек у разных компаний показаны на примере ведущих никелевых компаний мира, обрабатывающих никелевые сульфидные месторождения и месторождения силикатного никеля, которые существенно отличаются по ценностным характеристикам руд и, соответственно, издержкам на основной металл (см. рис 5, д).

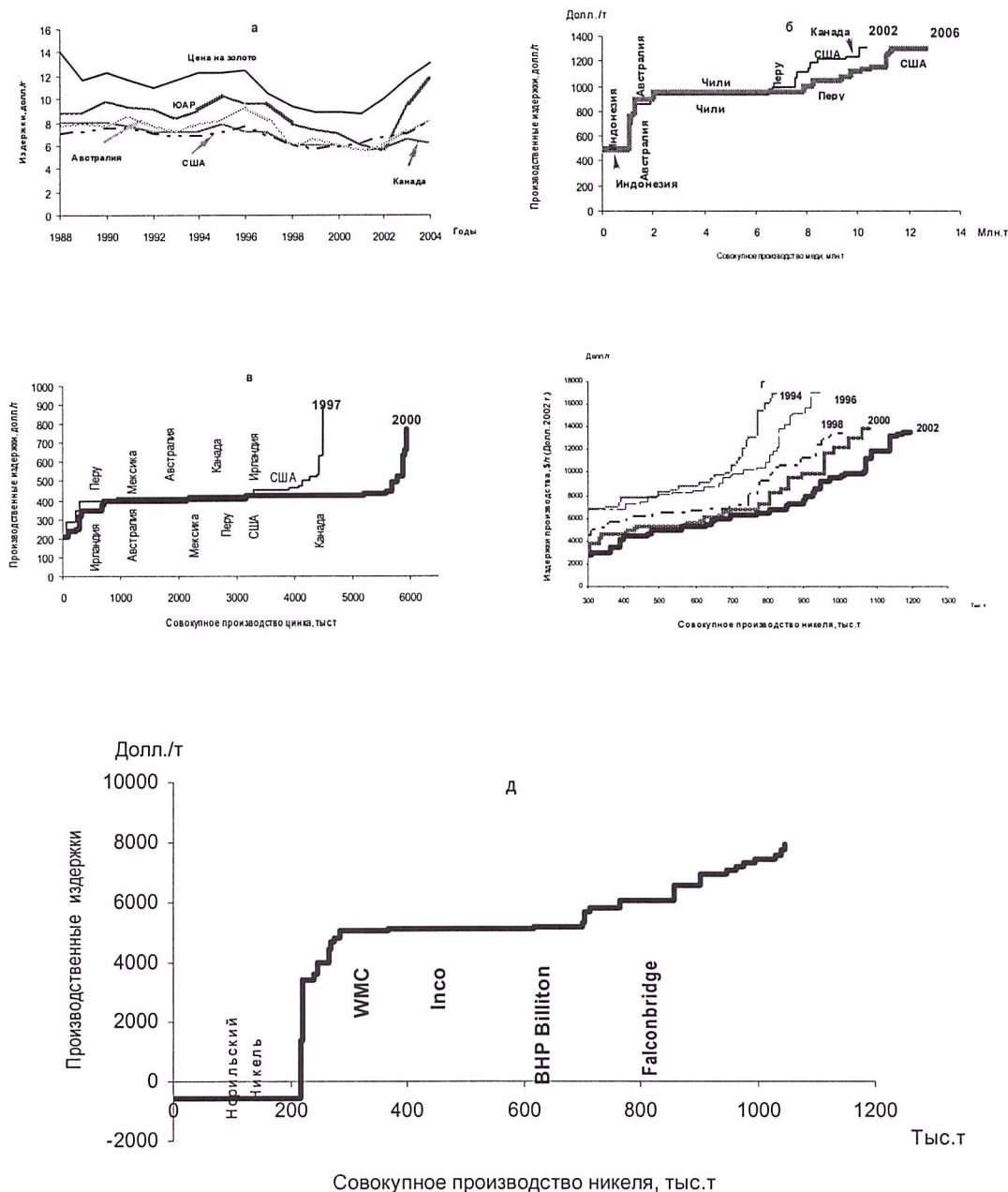


Рис. 5. Примеры динамики издержек производства некоторых благородных и цветных металлов для мира в целом и ведущих стран-производителей (а–г) и ведущих компаний (д) в 1988–2004 гг.

Экспрессная оценка капитальных затрат на подготовку будущих или предполагаемых горнодобывающих предприятий с учетом существующей мировой практики освоения месторождений благородных и цветных металлов в реальном времени (рассмотрение модельных объектов) может проводиться еще на завершающих стадиях геологоразведочных работ на объектах, еще не прошедших полностью всех стадий их экономической оценки (рис. 6). Это позволяет проводить упрощенную предварительную оценку сравнительной экономической эффективности рассматриваемых альтернативных решений на стадии оценки так называемых инвестиционных проектов строительства и реконструкции предприятий или предпроектной стадии [4].

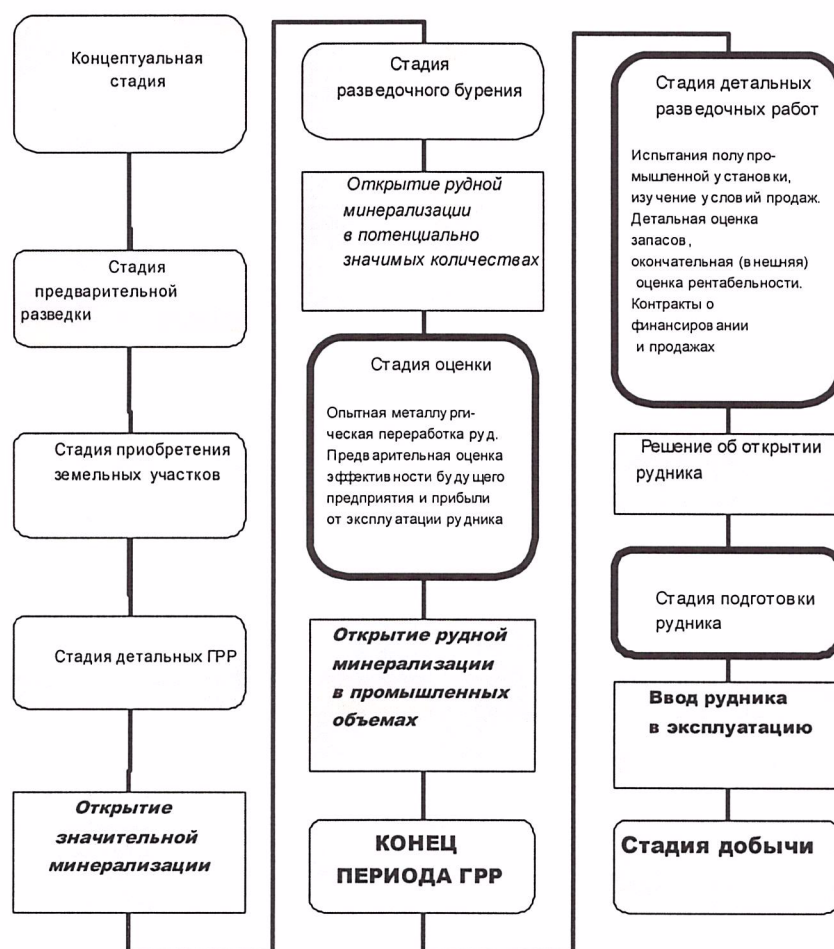


Рис. 6. Место горнорудных проектов в общей схеме освоения минерально-сырьевых ресурсов, и стадии, на которых реализуются возможности экспрессной оценки затрат на освоение месторождений (не закрашено)

Учет перечисленных особенностей проектных объектов минерально-сырьевой базы при их экспрессной оценке также может способствовать анализу различных аспектов экономической доступности минерально-сырьевых ресурсов на основе соотношения фактических и расчетных цен товарной продукции как меры экономической доступности минерального сырья [2] и существенным образом влиять на предполагаемые геолого-экономические параметры будущих добывающих предприятий.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Мониторинг геолого-экономических данных по мировым горнорудным проектам освоения минерально-сырьевых объектов позволяет с учетом мировых цен прогнозировать в краткосрочной и среднесрочной перспективе обеспеченность мировой промышленности благородными и цветными металлами и отслеживать конкретные источники этой обеспеченности.

2. Априорная расчетная рентабельность реальных горнорудных проектов по благородным и цветным металлам при конкретных условиях конъюнктуры мирового рынка этих металлов предоставляет возможности экспрессной оценки (в т.ч. в графическом варианте) любых новых сырьевых объектов, еще не прошедших во всей полноте соответствующих стадий их экономической оценки, и проводить экспрессные оценки еще до окончания геологоразведочных работ.

3. Возможности проведения экспрессных оценок подтверждают приведенные примеры по крупным золоторудным, медному и колчеданно-полиметаллическому месторождениям Российской Федерации. Эти возможности могут быть с успехом использованы при анализе новых горнорудных объектов, снижая высокие риски начальных стадий освоения минерально-сырьевых ресурсов.

Список литературы.

1. *Капица С.П.* Общая теория роста населения Земли. — М.: Наука. 1999.
2. *Мацко Н.А.* Динамические аспекты доступности минерально-сырьевых ресурсов // Маркшейдерия и недропользование. 2002. № 4. С. 16–19.
3. *Мировая минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов: 1970–2000–2025 гг. Обзор-анализ.* / Коллектив авторов. М. 2003.
4. *Моссаковский Я.В.* Экономика горной промышленности. Учебник для вузов. — М: Изд-во МГГУ. 2004.
5. *Осинов Г.В.* Методы измерения в социологии. — М.: Электронная библиотека социологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова. 2005.
6. *Cranstone D.A., Lemieux A., Vallee et al.* Overview of Trends in Canadian Mineral Exploration, 2004.
7. *Dummet H.T.* Minerals resource development — our new Challenges // Mining Engineering, July 2000. Vol. 52, №. 7. P. 37–42.
8. *Kelly T., Buckingham D., DiFrancesco C., et al.* Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States. USGS Open-File Report 01-006, 2005.
9. *Kesler S.E.* Mineral Economics. Value of Growth of World Mineral and Other Raw Material Production // SEG Newsletter. 1994. №. 17. P. 14–15.
10. *Muskox Minerals Corp.*, 2005
11. *Stone J.G., Dunn P.G.* Ore Reserve Estimates in the Real World // SEG SP3. 2002. P.001-006.
12. *Wagner H., Fettweis G.B.L.* About science and technology in the field of mining in the Western world at the beginning of the new century // Resources Policy. 2001. №. 27. P. 157–168.
13. *World Exploration Trends.* A Special Report from Metals Economic Group for the PDAC2005 International Convention. MEG. 2006.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ БАНКА МОДЕЛЕЙ РАЗНОРАНГОВЫХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ

*Кузнецов В.В. (ЦНИГРИ), Финкельштейн М.Я,
Кирпичева Е.Ю. (ВНИИГеосистем), Рыбалкин М.Н. (ЦНИГРИ)*

Применение геоинформационных технологий при прогнозно-металлогенических исследованиях предусматривает повышение достоверности и воспроизводимости поисковых работ, обеспечивает интеграцию, анализ и комплексную интерпретацию разнотипных данных.

Для слабоформализованных предметных областей и геологии, в частности, этап постановки задачи является основой для создания формальных методов ее решения. Поэтому применение средств вычислительной техники и современных методов обработки данных на этом этапе оказывается наиболее весомым и значимым.

Стандартная алгоритмическая модель прогноза месторождений полезных ископаемых с помощью математических схем принятия решений включает два основных этапа работ: 1) на основе всей имеющейся по району работ картографической информации создается прогнозно-поисковая модель известных (эталонных) рудных объектов, представляющая собой классификатор поисковых признаков, для каждого из которых определена информативность, как количественная характеристика его прогнозно-поисковой значимости; 2) сначала для каждой элементарной ячейки исследуемой территории вычисляется показатель перспективности и проводится оконтуривание перспективных на обнаружение новых рудных объектов участков территории с относительно высокими значениями прогнозного свойства. Эффективность использования данной алгоритмической модели практически полностью определяется качеством работ первого этапа и во многом зависит от этапов формализации исходной и модельной информации. Создание любой модели, особенно геологической, всегда явление сложное и неоднозначное. Модель отражает наиболее существенные, значимые признаки явления, которые в разных ситуациях отражаются по-разному.

Банк критериев и признаков, необходимых для опознания и выделения металлогенических зон, рудных районов и полей и перспективных участков (месторождений), формируется на основе рудно-формационных исследований и базируется на анализе и систематизации фактического материала по закономерностям размещения рудно-формационных типов месторождений полезных ископаемых в различных геотектонических обстановках.

Общая система критериев и признаков, определяющих позицию металлогенических зон, рудных районов, рудных полей, перспективных участков (месторождений) приведена на рис. 1.

Группы элементов - признаков	Металлогенические таксоны			
	<i>Металлогеническая зона</i>	<i>Рудный район</i>	<i>Рудное поле</i>	<i>Месторождение</i>
Формационные				
Фациальные				
Литолого-петрографические				
Структурно-тектонические				
Рудноформационные				
Минералого-геохимические				
Гидротермально-метасоматические				
Геофизические				
Дистанционные:				
Космодешифровочные				
Аэрофотодешифровочные				

Рис. 1 Общая система критериев и признаков [4]

Структура признаков банка данных для всех металлогенических таксонов в него включенных актуализирована на основе разработок ЦНИГРИ в сфере прогноза и оценки месторождений благородных и цветных металлов [2, 3, 4].

Программный продукт «Банк моделей разноранговых металлогенических объектов благородных и цветных металлов», выполнен в приложении Microsoft Access. Процедуры взаимодействия пользователя, формирования поисковых запросов и вывод данных по запросам написаны на встроенном в Microsoft Access языке программирования Visual Basic. В основе создания банка данных лежит система критериев и признаков объектов разного ранга – зон, районов, полей и месторождений, сформированных на методических основах прикладной металлогении и прогноза, опирающихся на принципы рудно-формационного анализа. Банк данных содержит описание этих таксонов в конкретном признаковом выражении.

Компьютерная информация предоставляется в виде табличной базы данных, содержащей качественную и количественную информацию о разноранговых металлогенических объектах. Различная информация об объектах (металлогеническая зона, рудный район, рудное поле и месторождение) хранится в независимых таблицах, одна из которых (общие сведения), для каждого своя, — главная, остальные — подчиненные, связанные с главной по ключевому полю (уникальному идентификатору объекта) связью один-ко-многим. В основной таблице содержится интегральная информация по объектам банка данных:

Связующее (ключевое) поле для таблицы «Общие сведения» является уникальным (одному объекту соответствует только одна запись в таблице) и неуникальным для всех остальных таблиц (одному объекту может соответствовать несколько записей в таблице).

Ввод и просмотр данных осуществляется через экранные формы, соответствующие металлогеническим таксонам.

Предусмотрен ряд дополнительных функций реализуемых через дополнительные кнопки на экранных формах.

Кнопка «*Отчет*» выводит отчет об объектах для последующей печати на принтере, кнопка «*Поиск*» служит для перехода к поисковой форме, кнопка «*Снять фильтр*» выводит к основной форме.

В банке данных предусмотрен поиск объектов. Поиск ведется по критериям, характеризующим объект: название, географическое положение, соответствие пространственным прогнозно-металлогеническим таксонам и рудно-формационным (геолого-промышленным) типам. Критерии поиска объектов задаются в поисковых формах. Поиск производится как по одному признаку, так и по нескольким.

На данный момент в банке представлены 39 металлогенических зон, 47 рудных районов, 54 рудных поля и 60 месторождений.

Все модели строятся по единому принципу последовательных приближений к объекту поисков - месторождению и включают:

- позицию рудного района в металлогенической зоне;
- позицию рудного поля в рудном районе, определяющую критерии и признаки ее обнаружения;
- рудоконтролирующие структуры рудного поля и фиксирующие их методы;
- позицию рудоносного участка (потенциального месторождения), методы его выявления.

Основа для реализации компьютерной технологии прогноза и оценки перспективных участков недр — географическая информационная система ИНТЕГРО. Программно-аналитическое обеспечение и пользовательский интерфейс системы ориентированы на специалиста-геолога и учитывают специфику представления геологической информации.

Структура ИНТЕГРО состоит из трех частей: СУБД (сервер данных), модуль представления и управления информацией (геоинформационная оболочка) и прикладные модули (блок редактирования данных и различные аналитические блоки).

Решение содержательных задач реализуется прикладными модулями, которые встраиваются в ГИС-оболочку, что позволяет интегрировать результаты решения с исходными данными и использовать наравне с ними в дальнейшей работе.

Процесс решения содержательных задач базируется на интерактивной технологии, сочетающей экспертные знания, заложенные в систему, со знаниями и представлениями о задаче конкретного пользователя.

Методическая основа данной технологии — общая схема постановки и решения прогнозно-поисковых задач в недропользовании, согласно которой процесс решения разбивается на этапы формулирования, формализации, выбора способа и решения, анализа и интерпретации результатов (рис. 2).

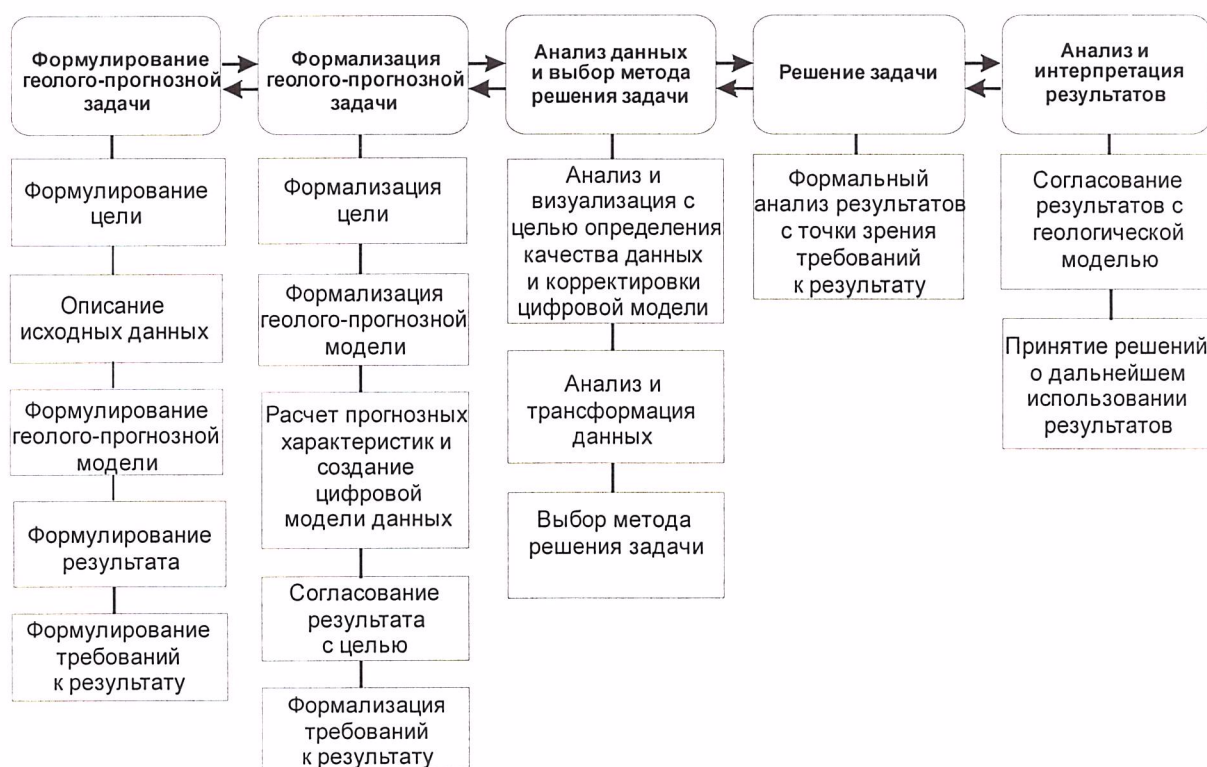


Рис. 2. Общая схема постановки и решения задач

Задача прогнозного блока — построение информационно-критериального признакового пространства, при этом модель строится по принципу аналогии с эталонным объектом банка моделей. Наличие технологической связи ИНТЕГРО и банка моделей реализует возможность автоматизации этапа формулирования модельных представлений. Для этого экспертно выделяется подмножество объектов банка, на основе которого можно построить комплексную модель исследуемой территории. Показатели модели определяются рангом металлогенического таксона и геолого-промышленным типом эталонного объекта.

Формализация задачи состоит в переводе на формальный язык описания цели и объекта исследования, типизации и формализации модельных представлений, определении способов вычисления свойств и построении цифровой модели (матрицы) данных для решения задачи, формировании требований к результату.

Формализация цели. Как следует из опыта автоматизированного решения задач прогноза, основными формальными задачами, решаемыми на отдельных стадиях геологоразведочного процесса по комплексу геологических, геофизических, геохимических характеристик, являются следующие:

- выделение* объектов поиска в области поиска (районирование территорий);
- разделение* объектов на перспективные и неперспективные по степени их похожести на эталонные объекты (разбраковка территории);
- упорядочение* (ранжирование) всех или наиболее перспективных объектов по значимости с целью определения очередности их дальнейшего изучения (оценки).

Выводы на основе аналогий предполагают одинаковое знание о свойствах сравниваемых объектов. Поэтому описания эталонной модели и исследуемых объектов должны быть даны в одном пространстве признаков. Этап формулирования эталонной модели в терминах исходных данных — определяющий и одновременно самый сложный. Главной задачей является не автоматическое выделение эталонных поисковых признаков на исследуемой карте, а создание интеллектуального интерфейса, позволяющего максимально использовать потенциал геолога при преобразовании этой информации в необходимый вид, выделении на ней тех факторов, которые могут, по его мнению, с тем или иным поправочным коэффициентом соответствовать значениям поисковых признаков, которые определяются эталонной моделью. Результат данного этапа — формирование компьютерного представления модели, отражающего соответствия эталонной и картографической информации.

Формализация исходных данных состоит в определении способов вычисления свойств, описывающих объекты поиска, и построении цифровой модели (матрицы) данных для решения задачи.

Описание информации, приходящей в виде растровых данных, векторной картографической информации, числовых геофизических полей и относящейся к различным объектам привязки, должно приводиться к единому объекту исследования. Как правило, таким объектом привязки становится прямоугольная ячейка территории, информация о которой записывается в объекты-свойства.

Для хранения сетей используется специальный формат — таблица объекты-свойства (ТОС). Он характеризуется тем, что количество параметров для каждой ячейки не ограничено, а значения любых параметров кодируются числами, которые, как правило, являются результатом достаточно сложного преобразования исходных данных, а значение параметра в каждой ячейке сети характеризует определенную территорию.

Максимальный размер прогнозной ячейки ограничен принципом непропуска объекта прогноза, а минимальный — точностью проведения геологом-картосоставителем границ на исходной карте. Эти пределы дают обычные размеры прогнозной ячейки 2–10 мм в масштабе карты. Размер ячейки может быть уточнен параметрами эталонного объекта. Данной методикой предлагается в качестве такого параметра половинная ширина эталонного контура или среднее значение половинной ширины объектов комплексного эталона.

Задача оконтуривания и ранжирования перспективных участков решается в специализированном прогнозном блоке. Технология решения задачи прогноза состоит из двух этапов: 1) заключается в анализе и трансформации имеющейся (исходной и производной) информации, 2) в выборе способа решения задачи (формальной подзадачи), базирующемся как на этом анализе, так и на самой формулировке задачи.

При разных постановках задачи, анализ данных содержит следующие процедуры:

- проверка заполненности свойства;
- проверка вариабельности свойства;

- изменение масштаба свойства;
- выявление аномальных значений;
- выявление взаимосвязи свойств;
- проверка представительности эталонов.

Решение задачи на основе комплексных эталонных моделей осуществляется методами распознавания образов по интегральному значению числовых характеристик критериальных прогнозных свойств объекта исследования, рассчитанных в каждой элементарной ячейке карты. Результат оконтуривания определяется мерой сходства с «идеально плохим» в смысле этих критериев объектом.

Неравнозначность критериев учитывается через задание информационных весов, в качестве которых выступают эталонные веса значений поисковых признаков. Результат — рассчитанное по равномерной сети количественное свойство, оценивающее меру сходства каждой ячейки сети с эталонным объектом на множестве критериальных свойств модели.

Оконтуривание участков с нужной степенью перспективности происходит по соответствующим планам изолиний прогнозного свойства.

Методика автоматизированного подсчета прогнозных ресурсов перспективных площадей основана на общепринятом принципе аналогий через продуктивность с введением понижающих коэффициентов. Ресурсы изучаемых площадей (M_2) определяются через значения их площадей (S_2) и рассчитанную металлоносность эталонных площадей:

$$M_2 = K m_1 S_2.$$

Поправочный коэффициент (K) устанавливается путем расчета, при котором часть известных запасов для соответствующей площади условно рассматривается как неустановленная, а на площадь распространяется металлоносность остальной части таксона с оценкой предполагаемых ресурсов. В общих случаях K принимается равным 0,5. Преимущества компьютерной технологии заключаются в том, что значения этого коэффициента могут быть уточнены показателями цифровой модели данных. Такая модель характеризует распределение критериев и поисковых признаков, обозначенных моделью задачи, по перспективным контурам. Таким образом, на основе этой модели можно сравнить перспективный контур с каждым объектом комплексного эталона с целью выявления более похожих на него. Степень похожести устанавливается мерой сходства:

$$\mu(i, j) = 1 - \sum_{l=1}^L \frac{Ves_l \cdot |f_l^j - f_l^i|}{(f_l^{**} - f_l^*)}, j \in (1, N), i \in (1, M),$$

где N — число уникальных эталонных объектов, входящих в комплексную модель; M — число перспективных контуров, по которым проводится подсчет прогнозных ресурсов; Ves_l — информационный вес l -го свойства; f_l^j — значение l -го свойства j -го эталона; f_l^i — значение l -го свойства i -го перспективного контура; $(f_l^{**} - f_l^*)$ — разность между экстремальными значениями по l -му свойству.

Итак, прогнозные ресурсы изучаемого объекта определяется по формуле:

$$M_i = \frac{m_j}{S_j} \cdot S_i \cdot \mu(i, j).$$

Объект исследования в задаче оценки ресурсов — класс исходной карты, который содержит объекты оконтуренных перспективных участков площадного типа. Данный класс может быть результатом процесса прогнозирования, или являться исходным картографическим материалом.

Технология оценки прогнозных ресурсов включает следующие этапы:

сопоставление распределений критериальных свойств по изученным и исследуемым объектам;

расчет меры сходства каждого перспективного контура с каждым объектом комплексного эталона;

формальный анализ и редактирование модельных представлений (формирование на основе комплексной эталонной модели множества уникальных эталонов, похожих на объект исследования);

расчет прогнозного ресурса для каждого перспективного контура по характеристикам похожих на него эталонов.

Рассмотренная технология апробирована на ряде тестовых примеров в различных регионах России и показала высокую степень достоверности получаемых результатов, что позволило использовать ее при решении конкретных прогнозно-металлогенических задач.

Список литературы

1. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформационные системы. — М., 2005.
2. Модели месторождений благородных и цветных металлов. — М., 2002.
3. Методическое руководство "Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов". — М., 2002.
Вып. "Золото" / Под редакцией Б.И.Беневольского.
Вып. "Медь" / Под редакцией А.И.Кривцова.
Вып. "Свинец и цинк" / Под редакцией Г.В.Ручкина.
Вып. "Никель и кобальт" / Под редакцией А.И.Кривцов.
4. Пространственные металлогенические таксоны. Справочное пособие / В.И.Ваганов, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов и др. — М., 2003.
5. Финкельштейн М.Я., Митракова О.В., Черемисина Е.Н. ГИС-ИНТЕГРО — инструмент постановки и решения природопользовательских задач. /ГИС-ассоциация, информационный бюллетень. — М., 1998.