

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

6/2010

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Зам. главного редактора Н.И.НАЗАРОВА

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
Э.К.БУРЕНКОВ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
Ю.К.ГОЛУБЕВ
В.С.ЗВЕЗДОВ
П.А.ИГНАТОВ
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН

УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Издается при участии
Международной академии минеральных ресурсов,
Фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 2010

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова
Компьютерный набор, верстка и оригинал-макет: Т.В.Лукина

Сдано в набор 25.11.10 г.
Подписано в печать 03.12.10 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 315-43-47
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2010

Недропользование**Subsoil Use***Кривцов А.И.*

Основные показатели предкризисного мирового минерально-сырьевого обеспечения

5

Krivtsov A.I.

Key indicators of the pre-crisis world mineral supply

Прикладная металлогения**Applied metallogeny***Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф.*

Региональное количественное прогнозирование перспективных на эндогенное оруденение площадей на основе анализа физических полей в пределах юга Дальнего Востока России

10

Ivolga Ye.G., Manilov Yu.F.

Regional quantitative prediction of areas perspective for endogenic mineralization based on the physical field analysis within the southern part of the russian far east

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений**Exploration, estimation, and development of mineral deposits: Techniques and methods***Остапенко Л.А.*

Принципы прогноза технологических свойств окисленных серебряных руд по данным изучения вещественного состава

22

Ostapenko L.A.

Technological properties of oxidized silver ores: Principles of their prediction using mineralogical and chemical data

Лоскутов И.Ю., Асосков В.М.

Оценка потенциальной хромитонности Шаманского гипербазитового массива

32

Loskutov I.Yu., Asoskov V.M.

Estimation of potential chromite content in the Shaman ultrabasic massif

Громцев К.В.

Оценка перспектив алмазности Куусамо-Костомукшской площади по данным дистанционного зондирования

37

Gromtsev K.V.

The assessment of the diamondiferousity of Kuusamo-Kostomuksha area according to remote sensing data

Строение рудных месторождений**Architecture of ore deposits***Коньшев В.О.*

О составе самородного золота в минеральных ассоциациях золоторудных месторождений Алтае-Саянской области

42

Konyshev V.O.

The composition of native gold in mineral's association of gold mine in Altay-Sayan area

Вахрушев А.М.

Компьютерные модели обособления рудных масс при субгоризонтальном движении сульфидно-силикатных расплавов

58

Vahrushev A.M.

Computer models of ore masses separation during subhorizontal flowing of multi-compound sulphide-silicate liquids

Рецензии**Reviews**

Константинов М.М.
Золото недр Казахстана

65 *Konstantinov M.M.*
Lode gold of Kazakhstan

Зарубежный опыт**Foreign experience**

Сорокин А.Б., Мешалкин С.М., Хотылев О.В.
Эксплуатация косовых россыпей в районе Мад-
ре-де Диос, Перу

67 *Sorokin A.B., Meshalkin S.M., Hotylev O.V.*
Operation bar placers in area Madre-de-Dios, Peru

Поздравляем с юбилеем**Our congratulations**

А.Н.Барышева, Р.В.Добровольскую, А.А.Кон-
стантиновского, Л.Ф.Мызенкову

75 A.N.Baryshev, R.V.Dobrovol'skaya, A.A.Kon-
stantinovsky, L.F.Myzenkova

Список статей, опубликованных в журнале «Ру-
ды и металлы» в 2010 году

77 Rudy i Metally (Ores and Metals): List of publica-
tions-2010

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 553:338.5

© А.И.Кривцов, 2010

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕДКРИЗИСНОГО МИРОВОГО МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.И.Кривцов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Главные оценочные показатели состояния и развития мирового минерально-сырьевого обеспечения — объемы добычи и уровень цен на продукты горнорудного производства, а также их динамика. Оценены темпы роста мировой добычи основных полезных ископаемых с 1950 до 2008 гг. Определены тенденции изменений основных показателей за 1990–2008 гг. Показано, что к началу финансового кризиса рост текущих (годовых) цен ведущих полезных ископаемых многократно превышал увеличение добычи.

Ключевые слова: полезные ископаемые, добыча, цены, валовая стоимость.

A.I. Krivtsov Кривцов Анатолий Иванович, krivtsov@tsnigri.ru

KEY INDICATORS OF THE PRE-CRISIS WORLD MINERAL SUPPLY

Retrospective of the key evaluation indices portraying state and development of the world mineral supply, i.e., annual output and price level for the products of the mining industry, is presented. The growth rate of the world mining gold production is estimated for the period from 1950 through 2008. As demonstrated, by the beginning of the financial crisis the growth rate of the current prices has been many times higher than the increase in mining production.

Key words: mineral supply, mining, price, gross value.

Природа и причины мирового финансового кризиса обсуждались и обсуждаются во многих отечественных и зарубежных публикациях, которые рассматривают преимущественно банковскую сферу без анализа результатов ее влияния на конкретное производство, в первую очередь горнорудное, создающее минерально-сырьевое обеспечение экономики. В этой связи представляется интересным проанализировать некоторые показатели мирового минерально-сырьевого обеспечения с глубокой временной ретроспективой, а также в докризисные и предкризисные годы.

Мониторинг мировой минерально-сырьевой базы с анализом глубокой ретроспективы [3] до недавнего времени осложнялся отсутствием за многие прошлые годы достоверных данных по Китаю, СССР, странам соцлагеря, СНГ, а также очевидными противоречиями в данных различных зарубежных и отечественных источников. В 2009 г. М.П.Безжанова, несколько десятилетий ведущая мировую минерально-сырьевую статистику, вместе с Л.В.Кызиной опубликовали две мировые сводки по запасам и добыче ведущих полезных ископаемых и ценам на них за 1990–2008 гг. (по РФ — данные за

1995–2008 гг.). В сводках учтено множество источников и в значительной мере устранены отмеченные выше недостатки и противоречия, что позволило в данной работе опираться на материалы указанных исследователей [1, 2].

Установлено, что за истекшую половину XX в. и восемь лет XXI в. продолжилось устойчивое наращивание мировой добычи всех анализируемых полезных ископаемых, кроме ртути, производство которой начало сокращаться после 1970 г. и на 2008 г. составило 0,16 от уровня 1950 г. Индексы роста добычи остальных полезных ископаемых от 1950 г. составили: Sn — 1,35; Pb, Au, угли, Ag — от 2 до >3; Zn, Cu — в диапазоне 5–6; нефть и фосфаты — >6; Mn и Fe руды — >7; алмазы — 8,56; Ni — 9,58; Mo, Cr руды, газ — от 11 до 12. Эти показатели отражены на рис. 1, на котором также показан возможный рост добычи до 2025 г. путем экстраполяции трендов последних 3–5 зарубежных лет.

Напомним, что Геологической службой США после 2000 г. был проведен обстоятельный анализ динамики добычи твердых полезных ископаемых и цен на них с 1900 по 2000 гг. За столетнюю ис-

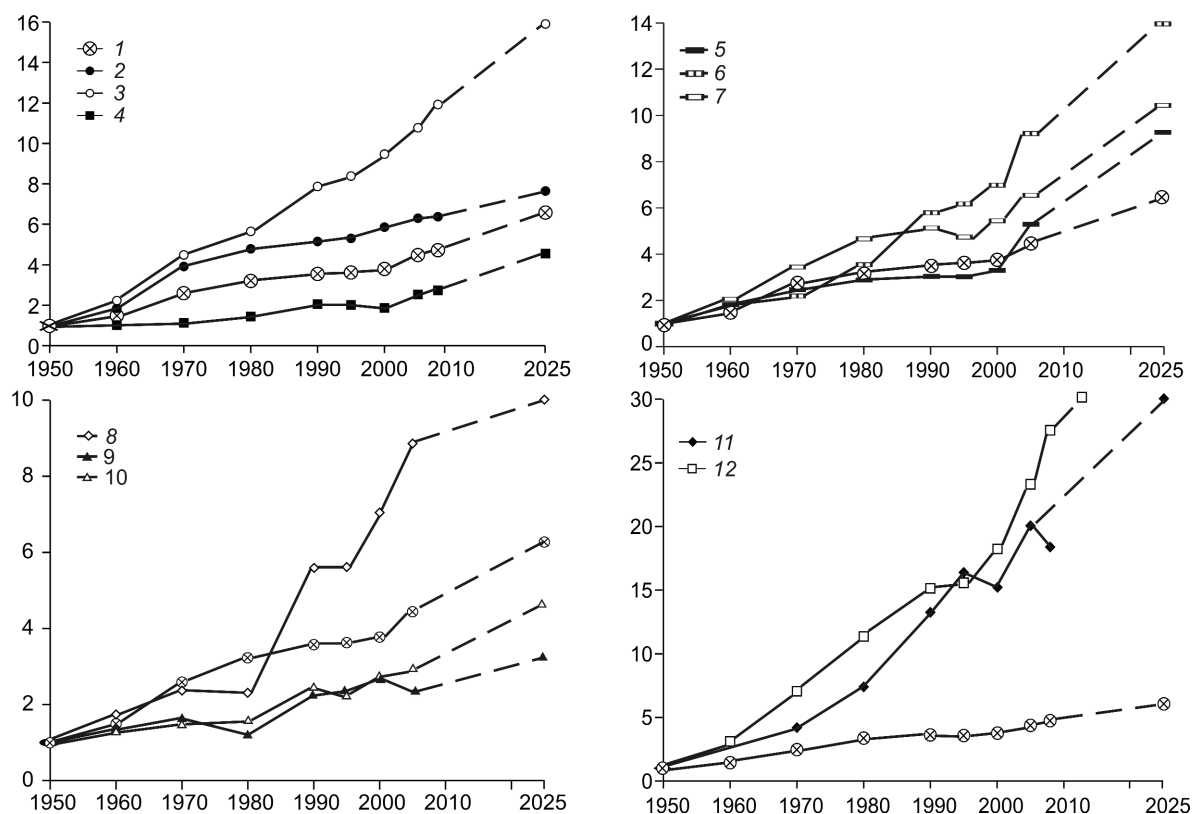


Рис. 1. Динамика роста мировой добычи основных полезных ископаемых за 1950–2008 гг., по [1–3]:

1 — всего ТЭС в пересчете на тут; 2 — нефть; 3 — газ; 4 — уголь; 5 — железные руды; 6 — хромовые руды; 7 — марганцевые руды; 8 — алмазы; 9 — золото; 10 — серебро; 11 — платиноиды; 12 — бокситы

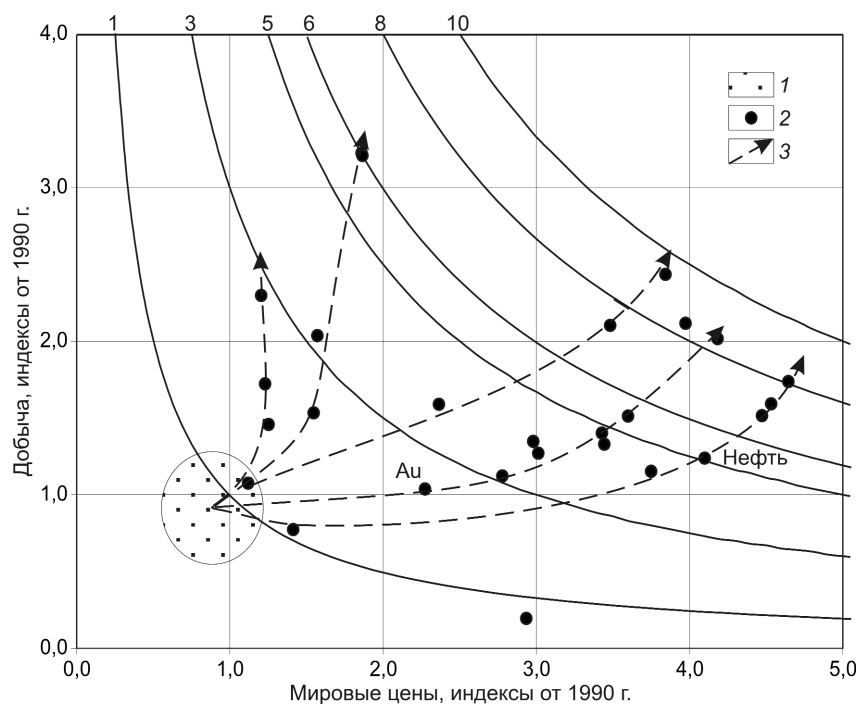


Рис. 2. Индексы расчетной мировой стоимости (добыча × цена) добычи полезных ископаемых за 1990–2008 гг. (кривые), по [1, 2]:

1 — основное поле значений за 1990–1995 гг.; 2 — значения для основных полезных ископаемых за 1990–2008 гг.; 3 — основные тренды роста валовой стоимости полезных ископаемых

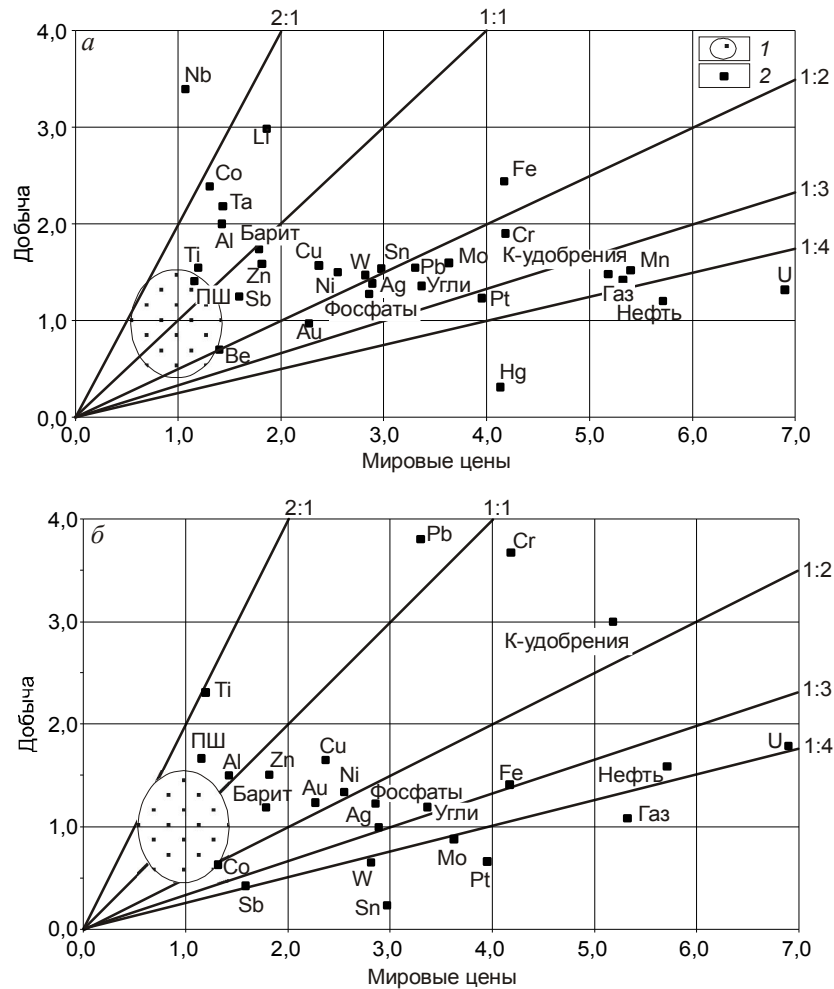


Рис. 3. Индексы роста добычи и мировых цен полезных ископаемых — мир (а) и РФ (б), по [1, 2]:

1 — основное поле мировых показателей за 1990–1995 гг.; 2 — значения за 1995–2008 гг.; приведены отношения индексов добыча/цены

торию горнодобывающая промышленность США удвоили добычу металлов, а добычу неметаллов увеличили в 10 раз. При этом цены на металлы (в дол. 2000 г.) снизились более чем в 2 раза, исключая частные пиковые скачки 1920 и 1980 гг., когда рост цен сопровождался падением добычи (и наоборот). Такая же картина характерна и для неметаллов, включая общее снижение цен в 2 раза.

Указанные выше тенденции сменились на противоположные на рубеже веков, когда начался непредсказуемый рост мировых цен на нефть (сначала в 2–3 раза), что уже с 2002 г. повлекло за собой рост цен на такие энергоёмкие металлы, как никель и медь, при ограниченном увеличении их добычи.

Для анализа тенденций мирового минерально-сырьевого обеспечения за 1990–2008 гг. были рас-

считаны и сопоставлены индексы и среднегодовые темпы роста/убыли добычи и цен, а также оценена расчетная валовая стоимость основных полезных ископаемых (по мировым ценам).

Главные результаты анализа представлены на рис. 2. За первое пятилетие периода 1990–2008 гг. значения индексов добычи и цен для основных полезных ископаемых сконцентрировались в весьма ограниченном поле около единицы. Однако за весь анализируемый период произошел как бы «растянутый во времени взрыв» — разброс значений от начального пятилетия, но преимущественно за счет увеличения цен и лишь отчасти за счет роста добычи. В итоге индексы расчетной валовой стоимости весьма значительно выросли — min от 2–5, max до 8–10. Выявленная картина резко контрастирует с данными Геологической службы

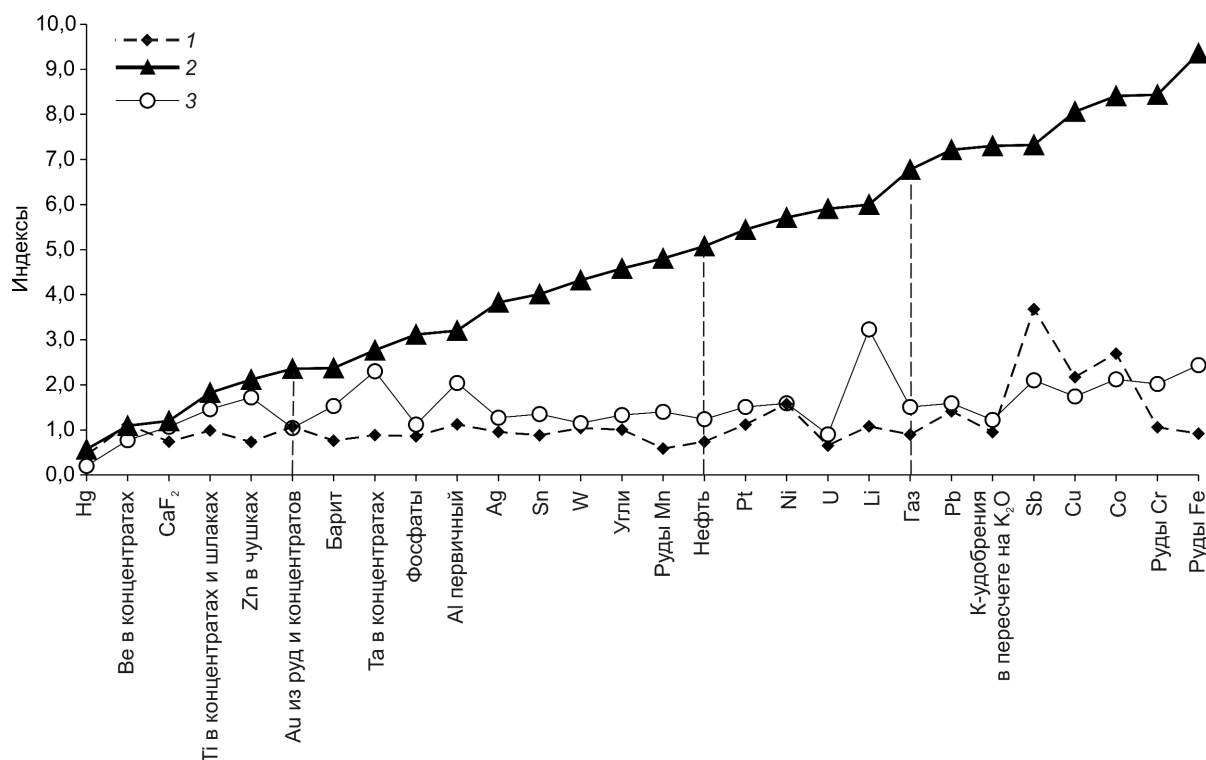


Рис. 4. Рост расчетной мировой валовой стоимости и добычи полезных ископаемых от 1990 г.:

стоимость: 1 — 1990–1995 гг., 2 — 1990–2008 гг.; добыча: 3 — 1990–2008 гг.

США за весь XX в. и может быть объяснена только эволюцией мировой финансовой системы, поскольку за анализируемый период потребительские свойства полезных ископаемых в принципе не могли меняться, а технологические схемы только совершенствовались со снижением производственных затрат.

Интенсивное удорожание продуктов горно-рудного производства, несомненно, было во благо странам-поставщикам минерального сырья, включая и Россию, поскольку его валовая стоимость росла как бы «сама по себе» без значительных новых вложений в производство (по некоторым полезным ископаемым и вовсе без таковых).

На рис. 3 для мира в целом и РФ дано сопоставление индексов добычи и цен по конкретным полезным ископаемым, которые отчетливо разделяются на две группы. Первую образуют полезные ископаемые с преобладанием роста добычи над ростом цен (поле от 2:1 до 1:1), вторую — полезные ископаемые с относительно умеренным наращиванием добычи (до 2) и высоким ростом цен (от 2 до 6). Для России характерно резкое преобладание полезных ископаемых второй группы.

Сопоставление среднегодовых темпов роста добычи и цен показывает, что только по отдельным полезным ископаемым рост добычи превышал 5% в год при увеличении цен от 5 до 35% в год. Показатели по РФ принципиально не отличаются от указанных значений.

Совершенно очевидно, что за анализируемые 18 лет классический баланс между предложением (добыча) и спросом (ценами) получил принципиально иное количественное и качественное содержание за счет весьма значительного роста финансового выражения спроса.

На рис. 4 полезные ископаемые ранжированы по увеличению расчетной мировой валовой стоимости добычи за 1990–2008 гг. Отчетливо видно отсутствие зависимостей между ростом добычи и увеличением стоимости, т.е. решающее значение ценового фактора. Рост стоимости добычи золота («убежища капиталов»), являющегося ориентиром для многих финансовых операций, к 2008 г. составил 2,36. Стоимость основных энергоносителей — нефти и газа («моторов» экономики) — возросла соответственно в 5,08 и 6,78 раза, что подтолкнуло к росту цены на цветные и черные ме-

таллы с большим увеличением стоимости, чем энергоносителей.

Уже в 2010 г. на большинство видов минерального сырья цены значительно снизились, и многие горнорудные комплексы понесли убытки (против 2008 г.). Одновременно почти рекордно увеличились цены на благородные металлы. Так, цена 1 г золота превысила 40 дол. США. Создается впечатление, что часть ранее полученных прибылей горнорудного сектора так или иначе перетекает в сферу хранения — в «золотое» убежище, и роль золота как денежного паритета в неявной форме возрастает.

При упрощенном подходе можно полагать, что в предкризисный период в горнорудном секторе постоянно нарастали доходы, если, конечно, правительства в той или иной форме не изымали часть этих «сверхдоходов». Можно также полагать, что в сложившихся условиях горнорудный сектор мог бы развиваться за счет собственных средств, если они не выводились за границы этого сектора, а правительства не направляли изъятые из горнорудной промышленности средства на поддержку банковской сферы. Однако сплошь и рядом приходится читать о горнорудных проектах с инвестированием за счет заемных средств. Много

пишут о перегреве экономики, жульничестве крупных кредиторов, финансовых мыльных пузырях, невозвратах кредитов и т.д. Специалистам, непосредственно занятым в конкретном горнорудном производстве, трудно разобраться во всех хитросплетениях современной мировой финансовой системы, необходимость радикального реформирования которой не так давно обосновывали лидеры нескольких стран.

Публикуя данную статью, автор считал необходимым привлечь внимание к упомянутым и другим проблемам финансирования минерально-сырьевого комплекса, тем более, что он был и остается основой отечественной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бежанова М.П., Кызина Л.В.* Запасы и добыча важнейших видов полезных ископаемых мира. — М.: ЗАО «ВНИИзарубежгеология», 2009.
2. *Бежанова М.П., Кызина Л.В.* Цены мирового рынка на минеральное сырье и продукты его переработки. — М.: ЗАО «ВНИИзарубежгеология» 2009.
3. *Кривцов А.И.* Минерально-сырьевая база начала XXI в. — мир и Россия. Избранные труды 2000–2007 гг. / Под ред. И.Ф.Мигачева. — М.: ЦНИГРИ, 2008.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ



УДК 553.062/.067:550.83.015 (571.61/.64)

© Е.Г.Иволга, Ю.Ф.Манилов, 2010

РЕГИОНАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ЭНДОГЕННОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРЕДЕЛАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Е.Г.Иволга, Ю.Ф.Манилов (Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН)

Для территории юга Дальнего Востока России выполнено количественное прогнозирование эндогенного оруденения Au, Sn, W, Mo, Pb-Zn, Cu, TR методом «распознавания образов» на основе информации гравитационного и магнитного полей с использованием ГИС ПАРК. При интерпретации прогнозных карт для указанных металлов выделены перспективные площади ранга металлогеническая зона (область) — рудный район и крупные металлогенические подразделения ранга рудный (металлогенический) пояс.

Ключевые слова: Дальний Восток, количественное прогнозирование, гравитационное поле, магнитное поле, эндогенное оруденение, металлогеническое районирование, информационная база прогноза.

Иволга Екатерина Григорьевна, ivolga@itig.as.khb.ru, Манилов Юрий Феликсович, ymanilov@itig.as.khb.ru

REGIONAL QUANTITATIVE PREDICTION OF AREAS PERSPECTIVE FOR ENDOGENIC MINERALIZATION BASED ON THE PHYSICAL FIELD ANALYSIS WITHIN THE SOUTHERN PART OF THE RUSSIAN FAR EAST

Ye.G.Ivolga, Yu.F.Manilov

Quantitative prediction of Au, Sn, W, Mo, Pb-Zn, Cu, and rare element endogenic mineralization was made in the territory of the Russian Far East by the method of «image identification» based on gravitational and magnetic field information using GIS PARK. The investigations resulted in a) recognition of potential areas of the «metallogenic zone (area) – ore district» rank for the referred areas of mineralization; and b) recognition of large metallogenic subdivisions of the metallogenic belt (area) rank based on interpretation of predicted maps.

Key words: Far East, quantitative prediction, gravitational field, magnetic field, endogenic mineralization, metallogenic zoning, infobase for prediction.

В практике геологоразведочных работ прогнозные металлогенические исследования традиционно выполняются преимущественно на основе металлогенического анализа [3, 9, 10, 13, 20]. Для определенной территории разрабатывается одна или несколько генетических моделей оруденения. На их основе формулируются рудоконтролирующие факторы, которые картографируются по территории. Наличие совокупностей рудоконтролирующих факторов позволяет выделить перспективные площади.

Начиная с 70-х годов XX в., кроме традиционного прогнозирования, в геологии активно внедряются количественные методы прогноза. Количественное прогнозирование — это процесс выделения перспективных площадей на базе совокупности количественно выраженных геологических, геофизических, геохимических и экономических данных в целях предсказания мест возможного положения рудных объектов (система метризации

признаков зависит от типа применяемой прогнозирующей ГИС). В отличие от металлогенического анализа такое прогнозирование выполняется на основе пространственно-статистических моделей, которые создаются путем анализа пространственно-статистического положения эталонных объектов относительно рудоконтролирующих признаков, имеющих в данной информационной базе. Как правило, количественное прогнозирование используется при средне- и крупномасштабных прогнозных работах. При переходе к региональному прогнозированию создание региональных вещественно-структурных моделей на базе геофизической информации становится все более проблематичным, поэтому на первый план выходит информация геофизических полей [8]. Они интегрально отражают глубинные и приповерхностные особенности геологического пространства, в том числе и продукты рудно-магматических процессов.

Цель настоящих исследований — изучить в пределах юга Дальнего Востока России с помощью ГИС прогностические возможности карт гравитационного и магнитного полей для регионального прогноза объектов определенной рудной минерализации. Главная задача — разделить территорию региона на перспективные и бесперспективные площади на определенные виды рудной минерализации, используя карты гравитационного и магнитного полей.

Рассматриваемая территория охватывает Приморский, Хабаровский края, Амурскую и Еврейскую автономные области. Она приурочена к зоне сочленения Алдано-Станового щита, Центрально-Азиатского и Тихоокеанского складчатых поясов. В качестве главных тектонических элементов здесь выделяются: юго-восточная часть докембрийской Сибирской платформы, Цзямусы-Малохинганский, Ханкайский и Охотский палеозойские массивы, Монголо-Охотский (восточная ветвь), Верхояно-Колымский (южная часть), Сихотэ-Алинский орогенные пояса и наложенные плутонические или вулканоплутонические пояса — Восточно-Сихотэ-Алинский, Охотско-Чукотский, Становой, Алданский [21]. Согласно металлогеническому районированию В.И.Сухова [14], территория размещается в пределах Внешней и Переходной мегазон Тихоокеанского рудного пояса, отличающихся структурными геодинамическими и металлогеническими особенностями. Внешняя мегазона представлена крупными блоками литосферы с преимущественно ортогональной относительно простирания тихоокеанских тектонических объектов ориентацией и дискретно размещенными ареалами рудоносности. Металлогеническая специализация блоков характеризуется парагенезами сидерофильных (P-Fe-Ti, Fe, Mn, Mo, C), халькофильных (Cu, Pb-Zn) и литофильных (TR, RM, W, Sn, Mo, F) рудных элементов. Переходная мегазона представлена блоком земной коры, наложенным на окраину континента и отвечающим тихоокеанскому структурному направлению, что отражает крупную структурную перестройку, происшедшую в процессе глобально проявленного внутриплитного магматизма. Металлогения Переходной мегазоны в значительной мере унаследована от Внешней мегазоны с существенно возросшей ролью парагенезов Au, Ag, Cu-Mo, Sn-Cu-Pb-Zn.

Большинство исследователей металлогеническую специализацию региона связывают либо с орогенным этапом развития территории (субдукцией или коллизией плит) [2], либо с процессами внутриплитного магматизма [4]. Наиболее продуктив-

ный в металлогеническом отношении период — мезозойский [2, 4, 12, 15, 17, 22].

Методика исследований в значительной мере определяется функциональными особенностями используемой прогнозирующей системы. Технологический процесс количественного прогнозирования включал три основных этапа работ, предусматривающих: создание информационных базы прогноза, массива признаков и базы рудных объектов; решение прогнозных задач; выработку прогнозного заключения.

Первые два этапа связаны с технологическими особенностями работы в системе, а третий — интерпретация полученных результатов — выполнялся непосредственно исследователем.

Основу информационной базы прогноза составили карты аномального магнитного поля м-ба 1:2 500 000 [11], гравитационного поля м-ба 1:2 500 000, созданные по съемкам 1:200 000, реде 1:1 000 000, рудоносности м-ба 1:1 500 000 [14]. Для увеличения информационного массива признаков были дополнительно созданы 44 карты-трансформанты гравитационного и магнитного полей. Они отражают деление полей на региональную и локальную составляющие, обусловленные разноточными процессами, учитывают степень дифференциации разноуровневых аномалий (стандартное отклонение, энтропия), показывают особенности корреляционных связей между аномалиями названных полей.

Опыт работ показывает, что чем большее количество трансформант с разной системой расчетов входит в состав информационной базы, тем больше возможностей сформулировать достаточно компактную прогнозную оптимальную модель. Сдерживающим моментом используемой ГИС явились ограниченные возможности создания трансформант полей, т.е. часть информации полей осталась недоступна для прогноза. Это ведет к размыванию прогнозных моделей и ограничению возможностей для прогнозирования созданной информационной базы. Используемая в настоящее время в России ГИС INTEGR0 в большей степени лишена этих недостатков [1].

Информационная база рудных объектов представлена адаптированной к данной прогнозной системе базой, созданной при составлении карты рудоносности [14]. Она состоит из данных по месторождениям разных типов (около 2300), сгруппированных по генетическим, рудно-формационным особенностям и разведанным запасам (крупные, средние, мелкие). В методическом отношении прогнозирование заключалось в решении прогнозных задач методом «распознавания образов» в рам-

ках созданной информационной базы. Технологически «образ» выражался через оптимальную прогнозную модель.

Оптимальная прогнозная модель — это набор «работающих» признаков (трансформаций) и их «работающих» интервалов для рассматриваемого типа оруденения, вычленяемых путем пространственно-статистического анализа на основе информационных весов и функции значимости в рамках созданной информационной базы. В автоматическом режиме для каждого типа оруденения (для каждой прогнозной задачи) по каждому признаку выделяется «рабочий» интервал, определяются его информационный вес и значение функции значимости. С учетом полученных характеристик из наиболее информативных признаков формируется прогнозная модель. Вся изучаемая территория была разделена на элементарные ячейки $2,5 \times 2,5$ км. На основе сравнения прогнозной модели с признаками в элементарной ячейке рассчитывалась мера сходства с эталоном для каждой элементарной ячейки и строились карты мер сходства с эталоном. В случае необходимости через «рабочие» интервалы признаков и их информационные веса прогнозная модель может корректироваться исполнителем. Визуализация оптимальных прогнозных моделей осуществлялась путем построения графиков функции значимости для разных типов оруденения. Созданные прогнозные модели отличаются количеством признаков (содержанием), интенсивностью и характером графика функции значимости. Качество сформированных оптимальных моделей разное, поскольку одни модели включают признаки с четко выраженными экстремумами функции значимости, т.е. формируют компактную прогнозную модель с высокой прогностической способностью (олово-сульфидные, редкоземельные, железо-марганцевые объекты). Другие графики имеют слаборасчлененный характер, свидетельствующий о том, что в рамках информационного массива не удается найти высокоинформативные признаки, т.е. прогнозный образ размыт и поэтому выделение перспективных площадей менее надежно. В этом случае требуется дополнительная работа по привлечению новых признаков или более тщательное формирование эталонной выборки.

Для создания обучающей выборки сначала выбирались все объекты изучаемой рудно-формационной принадлежности вне зависимости от величины месторождений. Далее выбранные объекты разбивались на две части: одна использовалась в качестве обучающей выборки, другая — контрольной. Технология системы позволяет исполь-

зовать в качестве эталонных только 120 рудных объектов, поэтому оставшиеся использовались как контрольные. Задача считалась решенной, если на территории достаточно четко обособлялись перспективные площади и при этом $>70\%$ известных рудных объектов попадали в разряд перспективных (мера сходства с эталоном $>0,6$). Прогнозные задачи решались для ведущих металлов в регионе — Sn, Au, Pb, Zn, W, Mo, Fe, Cu. Решены они с разной степенью достоверности, так как не для всех типов оруденения в рамках созданной информационной базы можно было построить компактную оптимальную прогнозную модель, да и эталонное обеспечение было не всегда должного качества [6, 7].

Результаты работ представлены тремя типами карт — меры сходства с эталоном, прогнозными и рудных поясов. Карты меры сходства с эталоном получены в результате решения прогнозных задач в ГИС, прогнозные — результат выделения прогнозных площадей на основе карт первого типа [7], а рудных поясов — результат металлогенической интерпретации карт первого и второго типов с выделением региональных металлогенических подразделений — рудных (металлогенических) поясов и ареалов [19].

Карты меры сходства с эталоном отражают степень близости выделенной площади с эталонным объектом в долях единицы. Когда рудная выборка не разделялась на рудно-формационные типы или рудная база была небольшой, анализ заканчивался созданием карты меры сходства с эталоном. В случаях, когда прогнозные задачи решались для разных рудно-формационных типов изучаемого оруденения, на основе карт первого типа вручную строились прогнозные карты (рис. 1, 2). Они созданы путем наложения перспективных площадей, выделенных на основе карт мер сходства для каждого рудно-формационного типа оруденения.

Прогнозные задачи для *золотого оруденения* решались для золото-кварцевой, золото-серебряной, золото-сульфидной и золото-кварц-сульфидной рудных формаций. Наиболее информативны карты для золото-кварцевой и золото-серебряной формаций, где мера сходства с эталонами достигает 0,8, менее — для золото-сульфидной (0,5) и практически незначимы — для кварц-сульфидной (0,3).

Перспективные площади разных формаций разобщены по территории, пересекаются в редких случаях (см. рис. 1). Они имеют разную геометрию выделяемых перспективных золоторудных площадей. Для золото-кварцевой формации наиболее характерно их ареальное размещение, для

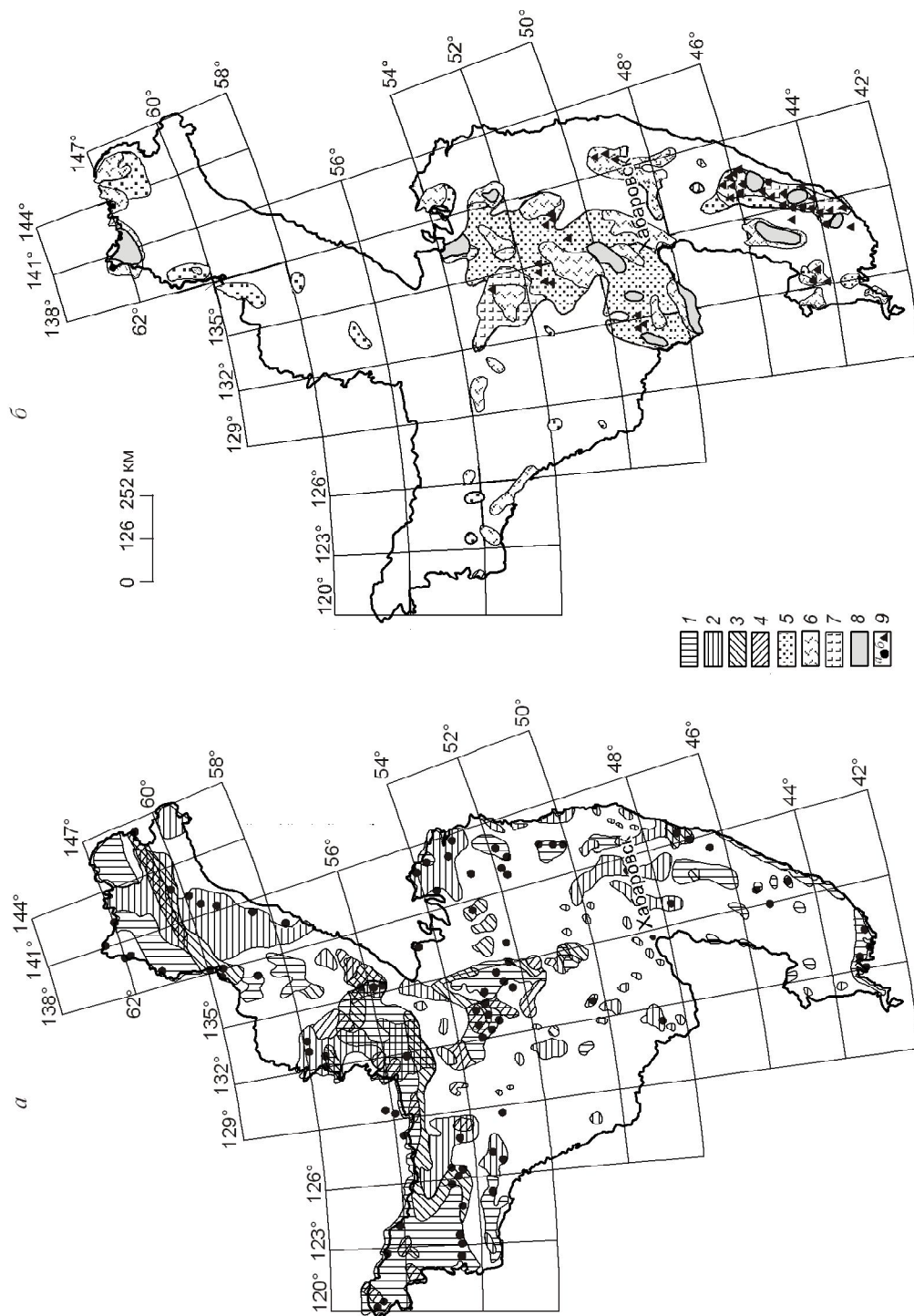


Рис. 1. Карта количественного прогнозирования перспективных площадей на золото (а) и олово (б):

площади, перспективные на выявление объектов рудных формаций: 1 — золото-кварцевой, 2 — золото-серебряной, 3 — золото-сульфидной, 4 — золото-кварц-сульфидной, 5 — касситерит-кварцевой, 6 — касситерит-силикатной, 7 — касситерит-сульфидной, 8 — грейзеновой; 9 — месторождения: а — золота, б — олова (мера сходства с эталоном >0,6)

золото-серебряной и золото-сульфидной — линейное. Пространственно золото-сульфидное оруденение больше тяготеет к объектам золото-кварцевой формации, чем к золото-серебряной. Максимальное площадное совмещение перспективных площадей разных формаций наблюдается в пределах юго-восточной окраины Алдано-Станового щита и северной окраины Охотского массива. Вероятно, это свидетельствует о большом разнообразии генетических типов оруденения и более растянутом во времени рудно-магматическом процессе [24].

Главный ареал перспективных на золото площадей, согласно интегральной прогнозной карте (см. рис. 1, а), приурочен к северной части территории. Перспективные площади здесь выделились для всех типов оруденения (золото-кварцевого, золото-серебряного и золото-сульфидного). В южной части площади перспективы большей частью связаны с золото-серебряными объектами, где наряду с линейными зонами выделились и ареалы — Туранский, Малохинганский и Комсомольско-Мухенский (рис. 3). Перспективные площади золото-кварцевого оруденения на юге имеются в пределах Центрального Сихотэ-Алиня, Селемджино-Кербинского района, незначительные — Ханкайского. В качестве наиболее перспективных площадей следует рассматривать Приохотскую область, юго-восточную часть Алдано-Станового щита (Тыранский блок, Учуро-Майская тектономагматическая структура [25]), Селемджино-Кербинский, Нижне-Амурский и Комсомольско-Мухенский районы. Представляется, что особого внимания заслуживает Приохотский район. Значимость этого района ранее определялась главным образом объектами золото-серебряного оруденения, связанного с вулканитами (Ульинская, Кухтуйская зоны [15]). Выполненные исследования показывают, что перспективы данного района могут быть расширены за счет объектов золото-кварцевого оруденения. Перспективная площадь имеет восток-юго-восточное простирание, расположена в зоне сочленения Охотского массива и Южно-Верхоянской зоны Верхояно-Колымского орогенного пояса. Она контролируется зоной гравитационного градиента на южной оконечности гравитационного минимума, обусловленного, вероятно, гранитоидами этой зоны. Далеко не исчерпаны ресурсы Учуро-Майской кольцевой тектономагматической структуры [25] (Алдано-Становой щит), в пределах которой известны золоторудные месторождения (Томптоканское, Маймаканское, Етара, Авлаканское, Колчеданный Утес). Это место сочленения золото-кварцевого Мая-Нельканского и золо-

то-серебряного Майского поясов со Становым. В целом для Учуро-Майской структуры, вероятно, характерно полиформационное и многоэтапное оруденение, которое требует самого пристального изучения. Для Селемджино-Кербинского и Нижне-Амурского районов существенного повышения перспектив не отмечается, но, вероятнее всего, их можно связывать с наращиванием Селемджино-Кербинской зоны в юго-восточном направлении до Агниево-Афанасьевского района. В качестве перспективной на золото-серебряное оруденение выделяется Мухенско-Тумнинская площадь (Комсомольско-Мухенский ареал), в пределах которой имеются золоторудные месторождения (Дурминское, Тумнинское), но как золоторудная область она находится на стадии становления. Требуется дальнейшего изучения Малохинганский район. Как россыпной он эксплуатируется давно, однако представляет интерес и для поисков рудных объектов золото-серебряной формации, связанной с Хингано-Эвурским вулканическим поясом. Следует также обратить внимание на Гиллюйский и Туранский золоторудные пояса, которые на значительном протяжении перекрыты осадками мезокайнозойских впадин и на поверхности проявлены фрагментарно (Прогнозное месторождение в Туранском поясе, Октябрьский золоторудный район и месторождение Нони в Гиллюйском), но по геофизическим данным имеют четкий структурный контроль на глубине.

Прогнозные задачи для *оловянного оруденения* отдельно решались для объектов касситерит-сульфидной, касситерит-кварцевой, касситерит-силикатной и грейзеновой формаций. Согласно картам мер сходства с эталоном, для всех рудных формаций характерна высокая степень сходимости — $>0,6$. Выделившиеся оловорудные области разных формаций в отличие от золоторудных совмещены в пространстве. Перспективные площади четко сгруппировались в несколько оловоносных областей: Сихотэ-Алинскую, Хингано-Эвурскую, Южно-Верхоянскую, Нельканскую и Верхне-Амурскую (см. рис. 1, б). Внутри указанных областей выделяются более локальные площади, по размерам соответствующие как известным, так и перспективным рудным районам. И если три первые совпадают с известными оловоносными областями [4, 17], то две последние с тех же позиций рудоносности плохо объяснимы, хотя рудопроявления и точки минерализации в них имеются. Нельканская и Верхне-Амурская площади слабо отражены на прогнозной карте, для них характерна невысокая мера сходства с эталоном ($<0,6$) однако они отображаются на всех четырех картах мер сходства и осо-

бенно четко просматриваются в пределах предполагаемого распространения грейзеновой и оловокварцевой формаций.

Указанные области входят в состав одноименных оловорудных поясов, выделившихся на юге Дальнего Востока России (см. рис. 1, *a*). Наиболее перспективен Хингано-Эвурский пояс. Он охватывает наибольшую по площади территорию, в его пределах находятся несколько промышленных оловорудных районов (Хинганский, Баджалский, Комсомольский, Дуссе-Алинский и Ям-Алинский), а также наибольшее количество перспективных новых районов, особенно на севере области. Сихотэ-Алинский пояс делится на три разобщенных площади — Арму-Кавалеровскую, в пределах которой находится промышленный Кавалеровский оловорудный район, Бута-Копинскую, перспективы которой также доказаны (имеется несколько мелких месторождений) и Кировско-Чугуевскую с мелкими оловорудными объектами (см. рис. 2). Несколько перспективных площадей выделены и в пределах Ханкайского массива, где также известно несколько оловорудных месторождений (Ярославское, Чапаевское, Первомайское).

Анализируя положение золотоносных и оловоносных областей можно заметить, что перспективные оловоносные области пространственно совпадают с золото-кварцевыми и разобщены с золото-серебряными.

Прогнозирование *железородных объектов* выполнено для следующих рудно-формационных типов оруденения: железо-марганцевого, железородного осадочно-вулканогенного, метаморфогенного (железистых кварцитов), скарнового, осадочного (см. рис. 3). Наиболее информативные карты получены для метаморфогенного, железо-марганцевого и скарнового оруденения (мера сходства с эталоном $>0,6$), а наименее — для осадочного. Прогнозируемые площади пространственно разобщены и отражают генетическую принадлежность оруденения в соответствии с механизмом их формирования. Области метаморфогенного оруденения приурочены к железистым кварцитам в краевых зонах Алдано-Станового щита и Охотского массива. Перспективы первого не вызывают сомнения, поскольку здесь выявлены крупнейшие железородные районы. Для Охотского массива прямое подтверждение перспектив на железо отсутствует, так как он перекрыт вулканогенными образованиями.

География скарновых объектов определяется факторами, благоприятными для их образования. Это области распространения карбонатных пород в пределах Аргуно-Мамынского, Туранского, Мало-

хинганского, Ханкайского массивов, Восточно-Сихотэ-Алинского и Хингано-Эвурского вулканоплутонических поясов. Наибольшее число перспективных объектов железо-марганцевой формации сосредоточено на площадях западного обрамления Средне-Амурской депрессии и восточного обрамления Ханкайского массива. И если в пределах второй площади железородные объекты имеются, то в Средне-Амурской депрессии известно только Ванданское марганцевое месторождение, и как перспективный железородный район она не рассматривалась. Тем не менее, в обрамлении Средне-Амурской депрессии аэромагнитной съемкой зафиксирована серия магнитных аномалий. Геологическая заверка одной из них (Будюрской) привела к выявлению мелкого железородного месторождения. Это заставляет обратить более пристальное внимание на данную территорию с позиций поиска железородных объектов.

Согласно прогнозной карте (см. рис. 2, *a*) рассматриваемая территория делится на две железородные провинции: Северную, для которой характерно метаморфогенное и осадочное оруденение, и Южную, где преобладают объекты железо-марганцевой, скарновой и железородной осадочно-вулканогенной формаций. Граница между провинциями проходит по линии Гаси-Улигданского разлома [21]. Перспективные площади Северной зоны группируются вдоль южной и восточной границ Алдано-Станового щита, а Южной — по периферии Цзямусы-Малохинганского, большей частью перекрытого осадочными отложениями Средне-Амурской впадины, и Ханкайского массивов, а также Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса.

Прогнозные задачи по выявлению перспективных площадей *свинцово-цинкового оруденения* решались для двух генетических формаций — скарновой и гидротермальной. Более информативная карта получена для гидротермального оруденения (мера сходства с эталоном $>0,7$) и менее — скарнового. Для гидротермального оруденения четко выделяются несколько площадей его локализации: восточная окраина Алданской плиты в зоне Нелькан-Куллахского и Бурпалинского разломов (Мая-Нельканский ареал); Верхне-Амурский ареал в пределах Ольдойского прогиба; Туранский ареал в области сочленения Гонжинского выступа Аргуно-Мамынского массива и северо-восточной окраины Туранского массива; южная часть Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса [21] (см. рис. 2, *a*). Главные области перспективных объектов скарнового типа — южная часть Восточно-Сихотэ-Алинского пояса, восточная окраина Ханкай-

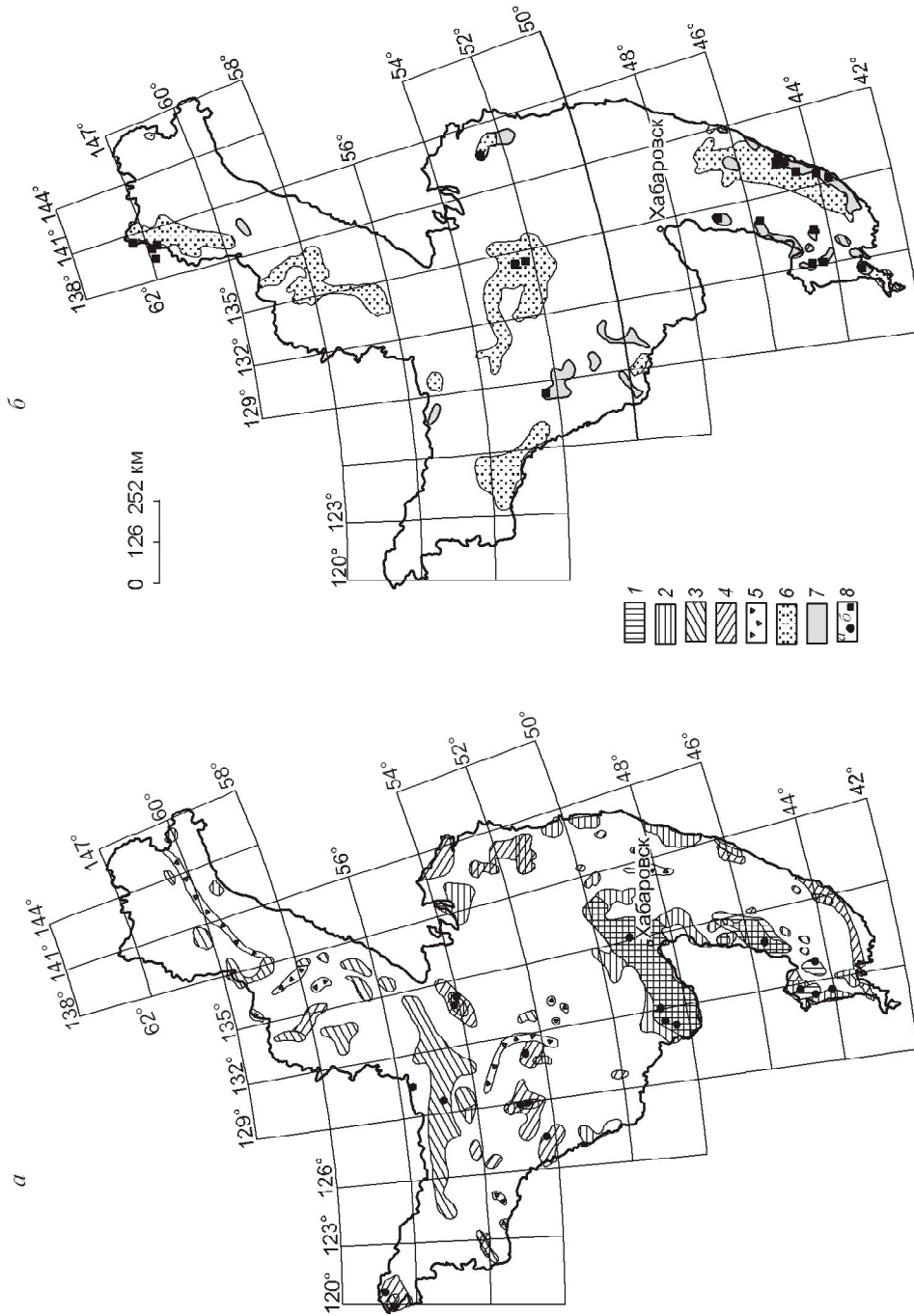


Рис. 2. Карта количественного прогнозирования перспективных площадей на железо (а) и полиметаллы (б):

площади, перспективные на выявление железорудных объектов разных рудных формаций: 1 — осадочно-марганцевой, 2 — осадочно-вулканогенной, 3 — метаморфогенной, 4 — скарновой, 5 — осадочной; площади перспективные на выявление свинцово-цинковых объектов: 6 — гидротермальных, 7 — скарновых; 8 — месторождения: а — железа, б — полиметаллов (мера сходства с эталоном >0,6)

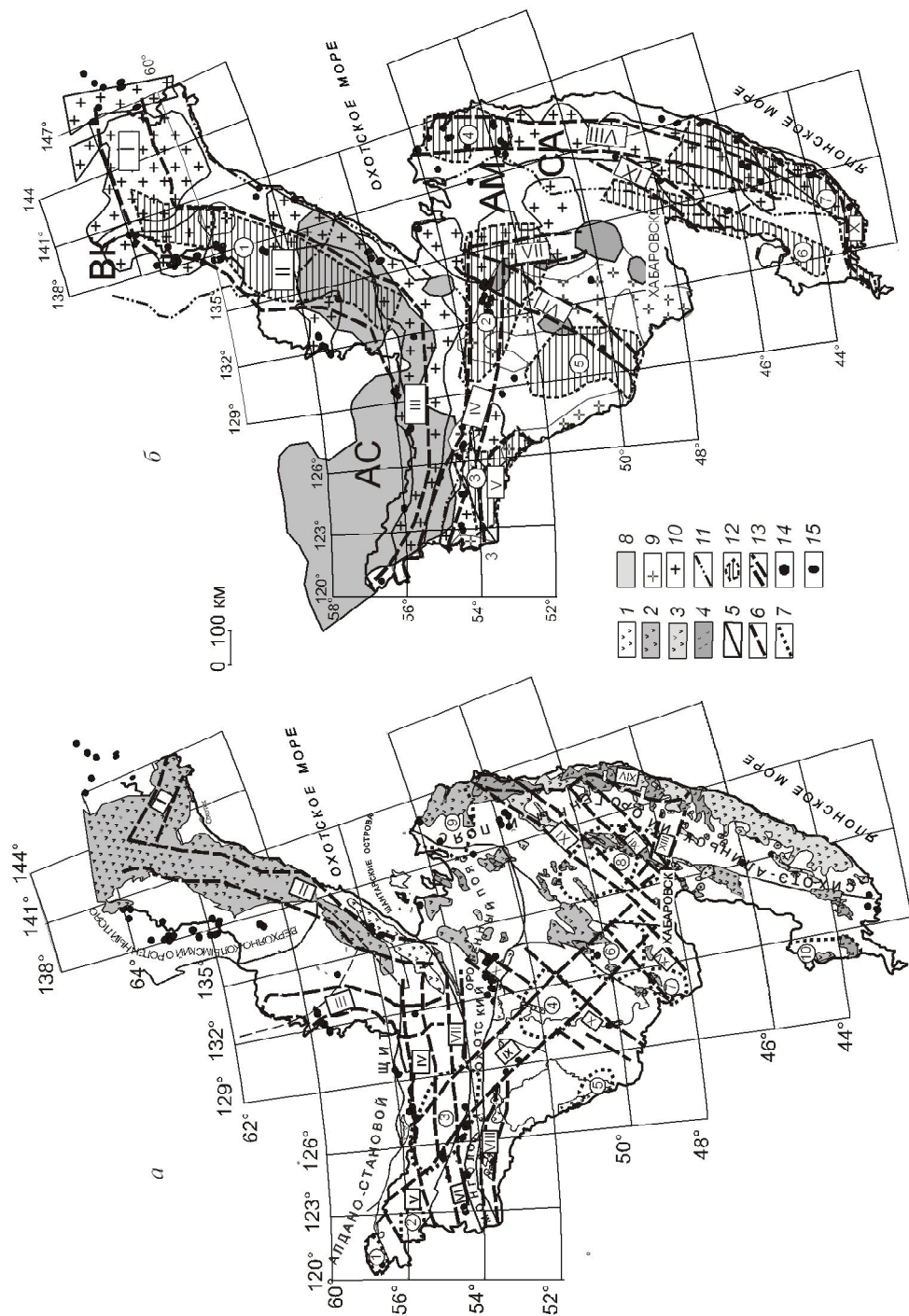
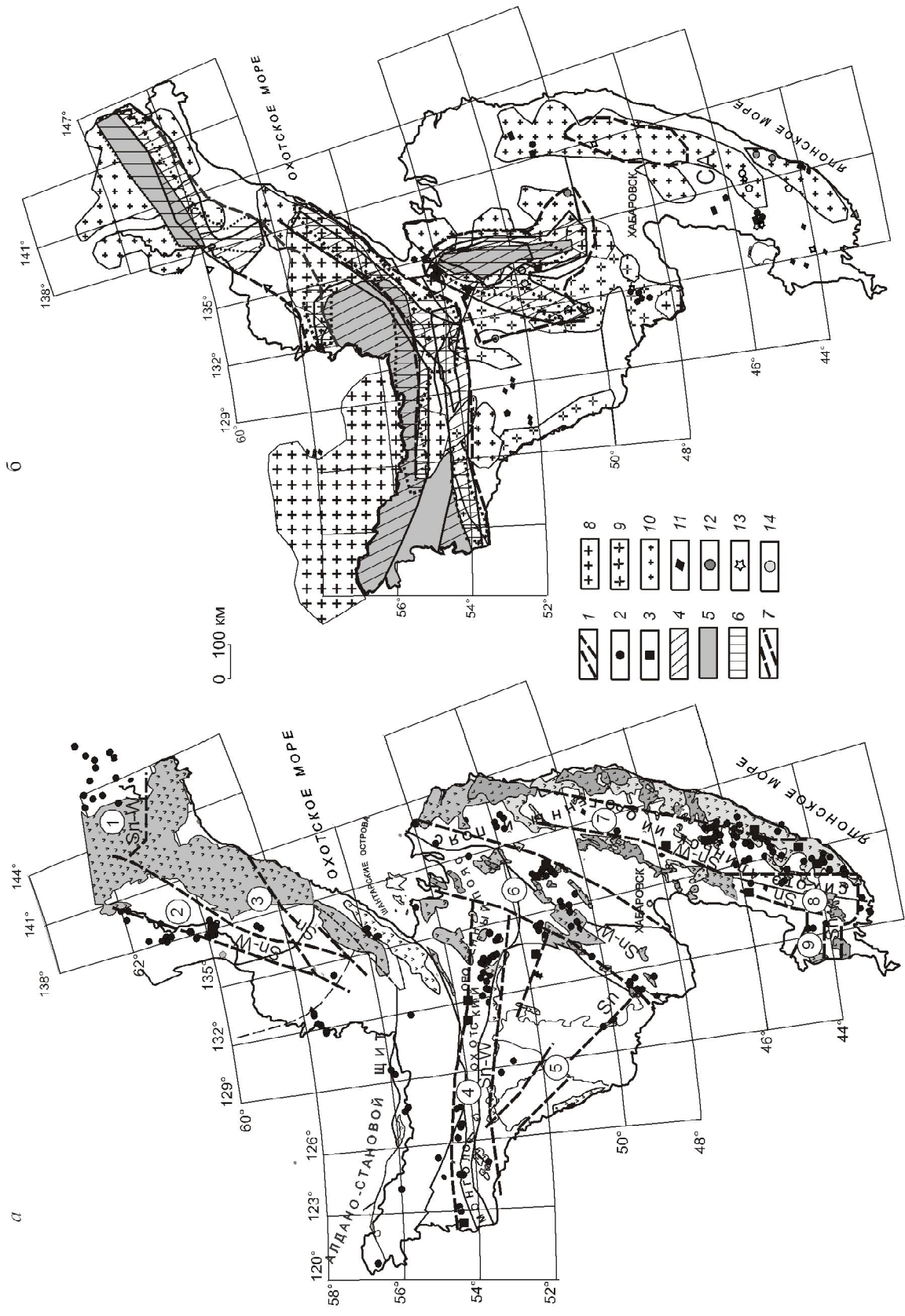


Рис. 3. Золоторудные пояса и области юга Дальнего Востока России по результатам количественного прогнозирования:

a — золото-серебряные; 1 — юрские вулканогенные образования преимущественно кислого состава, 2 — меловые вулканогенные образования преимущественно кислого состава, 3 — палеоген-неогеновые вулканогенные образования преимущественно кислого состава, 4 — неоген-четвертичные вулканогенные образования базальтоидного состава; 5 — границы основных тектонических структур;

б — пояса Au-Ag оруденения: I — Охотский, II — Джугдзуро-Ульинский, III — Майский, IV — Становой, V — Олекминский, VI — Северо-Тукурингский, VII — Джалдинский, VIII — Верхне-Амурский, IX — Туранский, X — Гилуйский, XI — Амурский, XII — Мухенский, XIII — Восточно-Сихотэ-Алинский, XIV — Бикинский, XV — Южноканский; 7 — границы ареалов Au-Ag оруденения (цифры в кружках): 1 — Олекминский, 2 — Одолгинский, 3 — Бомнакский, 4 — Туранский, 5 — Нижне-Зейский, 6 — Нижнеманский, 7 — Малохинганский, 8 — Комсомольско-Мухенский, 9 — Нижне-Амурский, 10 — Ханкайский; 6 — золото-полуметаллические: гранитоидные ареалы; 8 — позднепротерозойские, 9 — палеозойские, 10 — мезозойские; 11 — границы металлогенических провинций, 12 — границы перспективных на полиметаллическое оруденение (цифры в кружках); 13 — Южно-Сихотэ-Алинский, 14 — Верхне-Амурский, V — Туранский, VI — Приохотский, II — Приохотский, III — Становой, IV — Тукурингский, VII — Туранский, VIII — Сихотэ-Алинский, IX — Мухенский, X — Прибрежный; 14 — месторождения золота; 15 — месторождения золота золото-серебряной рудной формации



ского массива. Пространственно названные площади, за исключением Восточно-Сихотэ-Алинского пояса, не пересекаются. В пределах всех указанных площадей имеются полиметаллические месторождения, за исключением Верхне-Амурской площади, где выявлены только рудопроявления скарнового типа.

Для остальных элементов прогнозные задачи решены без разделения на формации. Основные перспективные области на *вольфрам* — южная часть Центрально-Сихотэ-Алинского гранитоидного пояса, Баджал-Ям-Алинский гранитоидный арал [16], Южно-Верхоянский гранитоидный пояс и Верхне-Амурский арал в зонах Северо- и Южно-Турурингского разломов Аргуно-Мамынского выступа (рис. 4, а).

Основные перспективные площади на *молибден* составляют две провинции. Первая представлена цепочкой перспективных участков вдоль южных оконечностей Селенга-Станового орогенного пояса и Становой зеленокаменной области, восток-северо-восточной окраины Алдано-Станового щита, а также северо-западной, перекрытой вулканитами, оконечности Охотского массива. Вторая размещается по периферии Баджал-Ям-Алинского гравитационного минимума, который, согласно работе [16], соответствует гранитоидному ареалу, корнями уходящему в мантию на глубину >70 км.

Близкое к молибдену распределение перспективных площадей имеют *редкометалльные, редкоземельные, медные (гидротермальные) объекты* (см. рис. 4, б). В качестве перспективной на медь выделилась еще одна площадь в пределах Центрально-Сихотэ-Алинского гранитоидного пояса, где отмечено слабое увеличение перспективности и на молибден. Недостатком полученных результатов для этой группы месторождений явилось то, что часть известных рудных объектов, особенно редкометалльных, не попала в разряд перспективных площадей. Это объясняется несовершенством эталонного обеспечения при решении прогнозных задач — объекты данной рудно-формационной принадлежности имели слабое представительство в эталонной выборке.

Приведенные карты показывают, что площади, перспективные на разные виды оруденения, доста-

точно четко территориально обособились. Это подтверждает «работоспособность» созданных прогнозных моделей. В то же время, большие размеры перспективных площадей косвенно свидетельствуют о недостаточной их избирательности. Тем не менее, несмотря на указанные недостатки, карты могут иметь широкое применение при обосновании прогнозных работ на новые типы оруденения, проведении прогнозных работ более крупного масштаба, формировании экспертных прогнозных моделей на площадях, не обеспеченных эталонами. По металлогенической иерархии перспективные площади соответствуют рангу металлогенической зоны (области), а в случае многовариантного прогноза — рудному району.

Анализ карт мер сходства с эталоном, прогнозных карт и карт рудоносности позволяет выделить территории с характерными видами оруденения, которые по площадным характеристикам соответствуют металлогеническим (рудным) поясам или крупным областям (см. рис. 3, 4). В качестве геологической подложки здесь использованы карта вулканических образований (фрагмент карты [21]) и карта гранитоидных образований Н.П. Романовского, которая является расчетной картой и отражает процент гранитоидных образований в пределах расчетного квадрата [18], в данном случае $>25\%$.

Перспективные площади на золото пространственно четко делятся на два типа: золото-полиметаллические и золото-серебряные (см. рис. 3). Первые тяготеют к гранитоидным поясам в области сочленения разновозрастных тектонических сооружений. Пространственно они пересекаются с ареалами, перспективными на гидротермальное свинцово-цинковое оруденение. Вторые, как правило, контролируются вулканоплутоническими поясами, наложенными на разновозрастные сооружения. В том или ином количестве везде имеются промышленные золоторудные объекты [5]. Наряду с линейными рудоносными таксонами, для золото-серебряного оруденения выделяются и ареалы, как правило, приуроченные к области сочленения разнонаправленных золото-серебряных поясов, слабо отраженных в прямой рудоносности.

Рис. 4. Рудные пояса и металлогенические области юга Дальнего Востока России по результатам количественного прогнозирования:

а — олово-вольфрамовые пояса и ареалы: 1 — олово-вольфрамовые пояса и ареалы: 1 — Южно-Верхоянский, 2 — Нельканский, 3 — Джугджурский, 4 — Турурингский, 5 — Верхне-Амурский, 6 — Хингано-Эвурский, 7 — Сихотэ-Алинский, 8 — Приханкайский, 9 — Ханкайский; месторождения разных рудных формаций: 2 — олова, 3 — вольфрама; б — пояса и ареалы: 4 — молибденового, 5 — редкометалльно-редкоземельного оруденения, 6 — железорудные, 7 — медного оруденения; гранитоидные ареалы: 8 — позднепротерозойские, 9 — палеозойские, 10 — мезозойские; месторождения разных рудных формаций: 11 — железа, 12 — меди, 13 — редких металлов и редких земель, 14 — молибдена; усл. обозн. к геологической основе см. рис. 3, а

Согласно рис. 4 перспективные площади на вольфрам пространственно согласуются с таковыми для оловянного оруденения (см. рис. 1), что позволило выделить олово-вольфрамы рудные пояса (установленные и предполагаемые). Особенность положения большинства выделенных поясов — размещение в областях сочленения разновозрастных жестких тектонических сооружений (массивов и щитов) с орогенными областями, для которых характерно проявление разновозрастного гранитоидного магматизма. С.М.Родионовым было доказано, что такое сочетание является важнейшим фактором формирования оловянных месторождений [17]. В восточной части площади, в пределах выделенных поясов находятся основные промышленные объекты, т.е. их перспективы здесь достаточно убедительно доказаны. В то же время, выделенные пояса западной части — лишь привлечение внимания специалистов к этим площадям, поскольку подтверждений в виде промышленных объектов они пока не имеют. Олово-вольфрамовые пояса часто сопряжены с золоторудными. Это свидетельствует о том, что металлогенические пояса (области) золото-вольфрам-оловянной специализации возможны в случае, если олово и золото связаны с гранитоидными образованиями. На это в последнее время обратил внимание и Л.В.Эйриш, выделив золото-редкометальный тип оруденения как перспективный на Дальнем Востоке [23, 24]. В золото-серебряных объектах золото и олово, вероятнее всего, являются антагонистами.

Кроме вышеуказанных поясов, пространственно выделяется еще один тип поясов и ареалов сложного состава — медно-молибден-редкометально-редкоземельно-железорудный (см. рис. 4, б). Он объединяет объекты разных генетических видов и типов: молибден-медно-порфировое, молибден-кварцевое, редкометальное пегматит-грейзеновое, железорудное метаморфогенное и частично осадочное оруденение. В их пределах наблюдается металлогеническая зональность. Центральную часть пояса или ареала занимает редкометально-редкоземельное оруденение, на периферии размещаются области, перспективные на молибден, замещающиеся далее медным оруденением. Положение перспективных железорудных объектов в этой зональности четко не обозначилось: в одних случаях они ассоциируют с редкоземельными, в других — с молибденовыми объектами. Вероятно, лимитирующим фактором является наличие продуцирующих метаморфогенных толщ. В целом же такая зональность говорит о наличии единого продуцирующего очага для зональных элементов и отличном генезисе для железорудных.

Выполненные исследования показали, что анализ геофизических полей имеет большие прогностические возможности. Их реализация зависит от полноты описания полей с помощью трансформант (информационная база признаков) и точности классификации рудных объектов при выработке «образа эталонного объекта» — разработке прогнозной модели.

Невзирая на то что прогноз, по сути, выполнен на чисто формальной основе (без привлечения геологических факторов-признаков), полученные результаты дают новую информацию для направления прогнозно-поисковых работ и изучения закономерностей локализации разных видов эндогенного оруденения.

В целом метод количественного прогнозирования с использованием ГИС-технологий позволяет достаточно оперативно получить новый прогнозный результат. Применение таких технологий в рудной геологии дает возможность перейти на новый цифровой уровень обработки информации, где количественное прогнозирование служит завершающим звеном технологии цифровой обработки геолого-геофизической информации: от карт геофизических полей — к геофизическим моделям — к прогнозу или от карт физических полей — к прогнозу (рассмотренная модель).

Выделенные новые перспективные площади на разные виды оруденения требуют дальнейшей содержательной металлогенической интерпретации и заверки, а металлогенические обобщения — дальнейшей доработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галуев В.И., Левин А.С., Малинина С.С., Пиманова Н.Н.* Блок обработки геофизических данных при решении прогнозных задач // Руководство пользователя ГИС INTEGRO. М., 2001.
2. *Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк / А.И.Ханчук, В.В.Раткин, М.Д.Рязанцева и др.* — Владивосток: Дальнаука, 1995.
3. *Глубинное геолого-геофизическое картографирование при среднемасштабных геолого-съёмочных работах.* — Владивосток: Дальнаука, 2002.
4. *Глубинное строение уникальных рудоносных структур Дальнего Востока России / С.М.Родионов, Ю.Ф.Мальшев, Н.П.Романовский и др.* // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. М., 2006. Т. 3. Кн. 1. С. 103–130.
5. *Золотоносность юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая / Н.П.Романовский, Ю.Ф.Мальшев, Дуан Жуйянь и др.* // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 26. № 6. С. 1–15.
6. *Иволга Е.Г.* Геофизическая выраженность металлогенических зон и рудных районов юга Дальнего Востока

- ка России, ее прогнозная реализация с использованием ГИС ПАРК: Тез. докл. Международной геофизической конференции. С-Пб., 2000. С. 523–525.
7. *Иволга Е.Г.* Возможности прогнозирования рудных районов и металлогенических зон юга Дальнего Востока на основе анализа физических полей с использованием компьютерных технологий // *Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: IV Косыгинские чтения.* Хабаровск, 2003. С. 327–345.
 8. *Иволга Е. Г.* Минерагеническая интерпретация аномалий гравитационного и магнитного полей Дальнего Востока России // *Отечественная геология.* 2007. № 6. С. 8–19.
 9. *Иволга Е.Г.* Позиция рудных районов в структурах литосферы юга Дальнего Востока России и сопредельных районов Китая (по геофизическим данным) // *Тихоокеанская геология.* 2008. № 5.
 10. *Изучение* объемного строения эндогенных рудных районов при геолого-съёмочных работах. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
 11. *Карта* аномального магнитного поля территории СССР. Масштаб 1:2 500 000 / Отв. ред. З.А.Макарова. – М.: ГУГК, Ленинград, 1977.
 12. *Лобов А.И.* Краткая характеристика комплексных минерагенических провинций, областей и структурно-минерагенических зон Амурской области // *Геология и полезные ископаемые Приамурья.* Хабаровск, 1999. С.159–172.
 13. *Малышев Ю.Ф., Романовский Н.П.* Глубинное строение и магмато-генно-рудные системы Восточной Азии / *Принципы прогнозирования эндогенного оруднения в восточно-азиатских вулканических поясах СССР.* – М.: Недра, 1990.
 14. *Металлогения* Дальнего Востока России / В.И.Сухов, Ю.И.Бакулин, Н.П.Лошак и др. – Хабаровск: ДВИМС, 2000.
 15. *Моисеенко В.Г., Эйрши Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996.
 16. *Павлов Ю.А., Рейнлиб Э.Л.* Гравитационные аномалии и гранитоидный магматизм юга Дальнего Востока. – М.: Наука, 1982.
 17. *Родионов С.М.* Металлогения олова Востока России. – М.: Наука, 2005.
 18. *Романовский Н.П.* Способ количественной оценки проявлений гранитоидного магматизма при глубинных геолого-геофизических исследованиях // *Тихоокеанская геология.* 1984. № 1. С. 113–120.
 19. *Российский металлогенический словарь* / Под ред. А.И.Кривцова. С-Пб.: ВСЕГЕИ, 2003.
 20. *Тектоника, глубинное строение и минерагения* Приамурья и сопредельных территорий / А.С.Вольский, Г.А.Шатков и др. – СПб: ВСЕГЕИ, 2004.
 21. *Тектоника, глубинное строение и металлогения* области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1: 1 500 000 / Л.П.Карсаков, Чуньцин Чжао, Ю.Ф.Малышев и др. – Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005.
 22. *Ханчук А.И., Иванов А.И.* Геодинамика Востока России в мезо-кайнозойе и золотое оруденение / *Геодинамика и металлогения.* Владивосток: Дальнаука, 1999.
 23. *Эйрши Л.В.* К перспективам выявления крупных золоторудных месторождений в складчатых комплексах и структурах активизации Приамурья и Приморья // *Руды и металлы.* 2010. № 2. С. 5–16.
 24. *Эйрши Л.В.* О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока // *Геология рудных месторождений.* 2009. Т. 51. № 3. С. 250–260.
 25. *Юшманов В.В.* Тектоно-магматические концентрические комплексы. – М.: Наука, 1985.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 549.905:622.7

© Л.А.Остапенко, 2010

ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКИСЛЕННЫХ СЕРЕБРЯНЫХ РУД ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Л.А.Остапенко (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Оценена возможность применения различных видов исследования вещества (фазовый, гравитационный, корреляционный и оптико-геометрический анализы) для прогноза технологических свойств окисленных серебряных руд. Определены основные причины потерь полезных компонентов при их обогащении. Дан прогноз технологических свойств окисленных серебряных руд различных минеральных разновидностей.

Ключевые слова: серебряные месторождения, зона окисления, вещественный состав руд, прогноз обогатимости.

Остапенко Людмила Анатольевна, lud-ost@mail.ru

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF OXIDIZED SILVER ORES: PRINCIPLES OF THEIR PREDICTION USING MINERALOGICAL AND CHEMICAL DATA

L.A.Ostapenko

Applicability of various analytical techniques and methods (sequential selective extraction, gravity concentration, optical microscopy) as predictors of technological properties of oxidized silver ores is considered. Key factors responsible for losses of economic components during the course of ore processing are revealed.

Key words: silver deposits, oxidation profile, chemical and mineralogical composition, prediction of technological properties.

Выявление технологически значимых параметров качества руд является важной задачей уже на начальных стадиях изучения месторождений. Для этого необходим комплекс детальных исследований руд: изучение минерального и элементного составов рудных и нерудных минералов, текстурно-структурных особенностей руд с установлением морфологии и характера сростаний минеральных индивидов и определением гранулометрических свойств руды, оценка степени раскрываемости зерен главного рудного минерала при измельчении руд [2]. Изучение вещественного состава окисленных серебряных руд невозможно только традиционными методами оптической минералогии и предполагает использование электронной микроскопии, рентгеноспектрального, рентгенофазового и термического анализов, ОЖЕ-спектроскопии и других современных методов. С помощью этих исследований определяется возможное поведение минералов руды в технологических процессах, обосновывается выбор вариантов рациональных технологических схем, намечаются основные задачи по комплексному использованию руд, т.е. круг элементов, подлежащих извлечению, оцениваются воз-

можные показатели извлечения главных и сопутствующих компонентов.

Окисленные серебряные руды достаточно специфичны и не всегда приемны, разработанные для прогнозирования технологических свойств других видов минерального сырья, таких как оловянные, редкометальные, вольфрамовые и другие руды [2, 8], могут использоваться без изменений. Считается [6], что наиболее информативным специализированным исследованием для обоснования оптимальных вариантов технологических схем переработки окисленных серебряных руд является фазовый (рациональный) химический анализ. Он основан на последовательной селективной обработке руд различными растворителями для вскрытия и извлечения металлов из разных минеральных форм [10], предварительно установленных и диагностированных каким-либо другим методом минералогических исследований. Данный метод позволяет количественно определить соотношение различных минеральных форм золота, серебра, свинца, цинка, меди и других металлов, оценить соотношение различных продуктивных парагенезисов и минеральный баланс распределения по-

лезных компонентов в рудах. Методика проведения и возможности применения фазового (рационального) химического анализа детально изучены и охарактеризованы в литературе [6, 10]. Поэтому в настоящей работе рассмотрены возможности использования для обоснования оптимальных вариантов технологической переработки окисленных серебряных руд других методов и приемов изучения вещественного состава.

Гравитационный анализ достаточно распространен при изучении вещественного состава различных типов руд [1, 2]. Для прогнозирования технологических свойств по отдельно взятой пробе руды используется следующая принципиальная схема: квартование навески дробленной пробы массой 1–3 кг; рассев на классы крупности; деление в тяжелых жидкостях на фракции плотности всех классов, кроме шламов; определение содержания полезных компонентов во всех классах и фракциях и расчет их относительного распределения; интерпретация полученных результатов.

Рассмотрим использование данной схемы при изучении окисленных золото-серебряных руд месторождения Арылах. Измельченная до $-0,355$ мм проба была рассеяна на классы: $-0,355+0,09$, $-0,09+0,036$, $-0,036+0,02$, $-0,02+0,00316$, $-0,00316+0,001$, $-0,001$ мм. В данном случае выбор степени измельчения обусловлен технологической схемой, используемой при обогащении руд такого типа. Классы крупности $>0,00316$ мм делились на фракции плотности: $<2,5$, $2,5-2,6$, $2,6-2,7$, $2,7-2,9$, $2,9-3,3$, $>3,3$ г/см³. Выбор интервалов крупности и плотности может быть и иным, в зависимости от минерального состава проб.

Полученные данные (рис. 1) показали, что значительного увеличения содержания металлов ни в одном из классов крупности не происходит, содержания их в классах близки к содержанию в пробе, а доля металлов, связанная с данным классом крупности, зависит главным образом от выхода этого класса. Несколько более высокие содержания отмечаются для серебра только в классе $-0,036+0,02$ мм, золота — в классе $-0,036+0,02$ мм и в классах крупности $<0,00316$ мм. Некоторое увеличение содержания золота в шламе обусловлено мелкими размерами золотосодержащих фаз и их сростками со слюдисто-глинистыми минералами, что установлено электронно-микроскопическими исследованиями и рентгеноспектральным микроанализом.

Изучение фракционированных по плотностям классов руды показало, что во фракции $>3,3$ г/см³ концентрируется большая часть гипергенных (гетит, ярозит, пироморфит и др.) и рудных (пирит, сфалерит и др.) минералов, $2,7-2,9$ и $2,9-3,3$ г/см³ — сростки с кварцем гипергенных и рудных минералов и слюдистые минералы, $2,6-2,7$ г/см³ — в основном кварц, $2,5-2,6$ и $<2,5$ г/см³ — глинистые минералы и сростки с ними.

В распределении золота и серебра по фракциям (рис. 2) выявлены следующие закономерности: значительная доля серебра (63%) и золота (40%) концентрируется во фракции $>3,3$ г/см³. Акантит, самородное серебро, электрум и кюстелит преимущественно присутствуют в составе мелкозернистых полифазных гипергенных агрегатов, а также в виде богатых сростков с кварцем и свободных зерен, что установлено при минераграфическом изучении этих продуктов. Размер зафиксированных (С.С.Двуреченская и др., 1990 г.) выделений электрума, находящегося в ассоциации с гидрогетитом, варьирует от 0,25 мкм до 0,009 мм. Самородное серебро в основном образует проволоковидные кристаллы на гипергенном акантите [4] размером от 0,25 мкм до 0,01 мм. Акантит присутствует в тонких смесях с гидрогетитом и другими гипергенными минералами. Он накапливается в многочисленных различных по размерам кавернах выщелачивания в кварце. При этом даже кажущиеся сплошными выделения представлены тонкими смесями мелких каплевидных частиц акантита с гидрогетитом. При исследованиях на электронном микроскопе [4] установлено, что форма отдельных зерен акантита обычно изометричная, реже овальная, их размер не превышает 10 мкм, средний размер составляет около 1 мкм.

В табл. 1 приведены данные о характере выделений золото-серебряных минералов и рассчитана их доля в зернах различных фракций. Для упрощения расчета доли серебряного минерала было принято допущение, что сростки состоят из двух фаз: серебряный минерал – кварц (или глинистый минерал). После чего доля рассчитывалась следующим образом:

$$P_{Q(\Gamma)}(100-D_C)/100+P_C D_C/100 < P_{\max}$$

$$P_{Q(\Gamma)}(100-D_C)/100+P_C D_C/100 > P_{\min}, \text{ отсюда}$$

$$D_C < P_{\max} - P_{Q(\Gamma)} / P_C - P_{Q(\Gamma)} \cdot 100\%$$

$$D_C > P_{\min} - P_{Q(\Gamma)} / P_C - P_{Q(\Gamma)} \cdot 100\%$$

где D_C — доля серебряного минерала в сростках; P_C — плотность серебряного минерала (акантит — 7,3 г/см³, самородное серебро, кюстелит, электрум — 10,1–15,0 г/см³); P_Q — плотность кварца (2,6 г/см³); P_{Γ} — плотность глинистых минералов ($\sim 2,2$ г/см³); P_{\max} , P_{\min} — соответственно максимальная и минимальная плотность фракции.

Такие расчеты дают возможность определить, какая доля серебра будет извлечена при гравитационно-флотационном обогащении (свободные зерна,

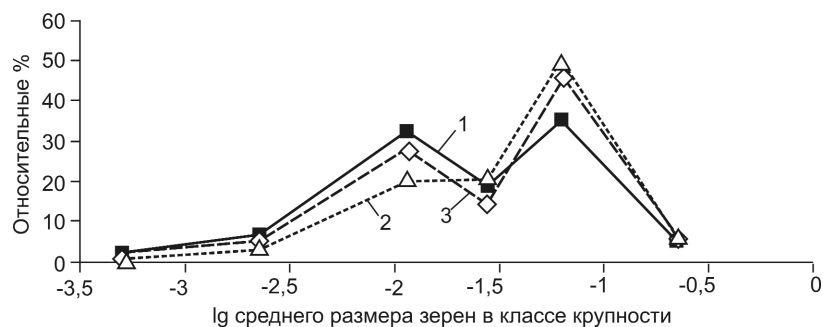


Рис. 1. Распределение золота (1) и серебра (2) по классам крупности дробленной гематит-кварцевой руды на месторождении Арылах в зависимости от их выхода (3)

богатые сростки, тяжелые агрегаты с гипергенными минералами, находящиеся во фракции $>3,3$ г/см³) и какая его часть может быть извлечена при доизмельчении легкой фракции, в результате чего увеличивается доля серебряного минерала в зерне.

В описываемой руде серебряные минералы преимущественно входят в состав полифазных мелкозернистых гипергенных агрегатов (в основном с гидрогетитом), плотность которых ниже, чем у серебряных минералов. Отсюда доли таких агрегатов в сростках с кварцем будут несколько выше, чем приведенные в таблице, а серебряных минералов — ниже. При доизмельчении материала крупных классов с плотностью фракций 2,9–3,3 и 2,7–2,9 г/см³ большая часть зерен, в состав которых входят серебряные минералы, имеет достаточный удельный вес ($>3,3$ г/см³) для извлечения их в гравитационный концентрат.

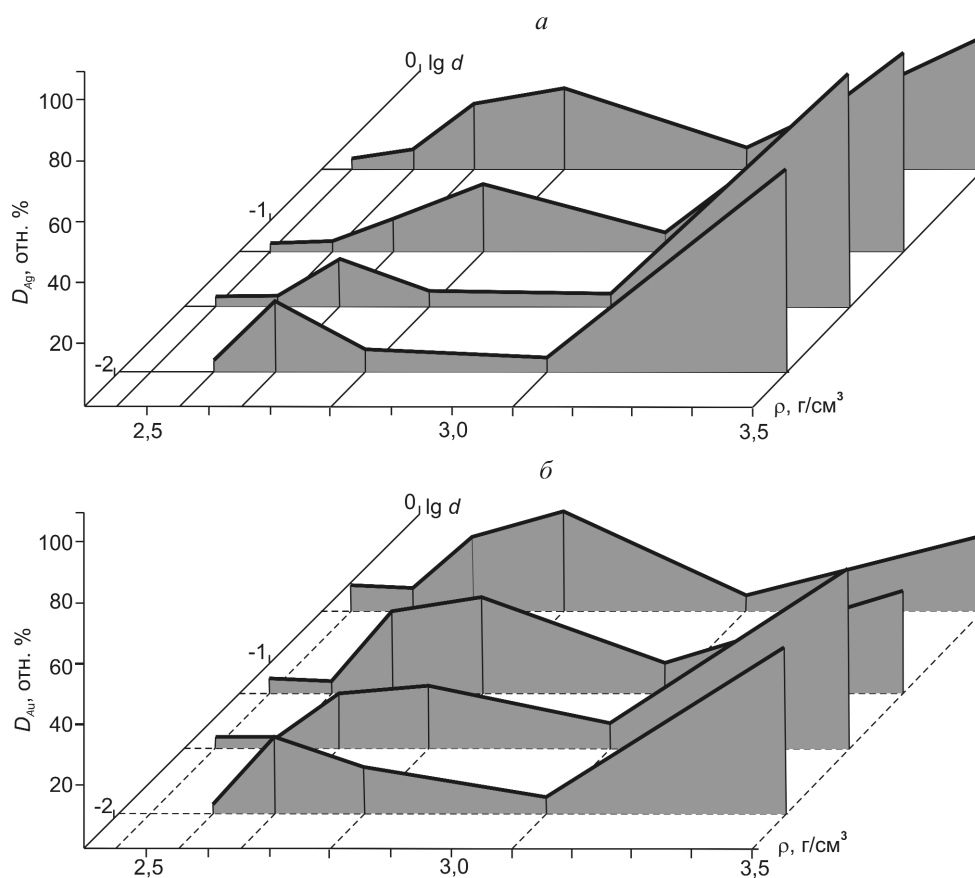


Рис. 2. Распределение серебра (а) и золота (б) во фракциях плотности классифицированной окисленной руды месторождения Арылах:

D — доля металла во фракции; d — средний размер (мм) зерен в классе крупности дробленной руды; ρ — средняя плотность фракции

1. Характер выделений золото-серебряных минералов в различных фракциях дробленной окисленной руды месторождения Арылах

Минерал	Доля минерала в сродках (вес. %), распределенных по фракциям плотности (г/см ³)					
	>3,3	2,9–3,3	2,7–2,9	2,6–2,7	2,5–2,6	<2,5
Акантит	>15	6–15	2–6	С Q — 2 С Г — 8–10	6–8	<6
Самородное Ag, кюстелит, электрум	>6	2–10	1–4	С Q — 1 С Г — 3–6	2–5	<4
Характер сродков	Богатые сродки с кварцем, агрегаты с гипергенными минералами и свободные зерна	Бедные сродки с кварцем	Включения в кварце	Микровключения в кварце, бедные сродки с глинистыми минералами	Включения в глинистых минералах	Микровключения в глинистых минералах

Примечание. Q — кварц, Г — глинистые минералы.

Для более наглядного представления полученных результатов удобно их графическое отображение (см. рис. 2), где видно, что значительная доля металлов (кроме фракции >3,3 г/см³) содержится во фракциях 2,7–2,9 и 2,6–2,7 г/см³ со смещением в тонких классах к последней. Золото-серебряные минералы в этих фракциях находятся в основном в составе гипергенных агрегатов, образующих включения и микровключения в кварце и слюдисто-глинистых минералах. Доля их в зернах <6% объема (см. табл. 1). Поэтому смещение распределения металлов в тонких классах в сторону фракции 2,6–2,7 г/см³ связано с возрастанием в них доли сродков золото-серебряных минералов с глинистыми минералами и увеличением содержания последних. Резкое уменьшение доли золота и серебра во фракции 2,9–3,3 г/см³ по сравнению с соседни-

ми (2,7–2,9 и >3,3 г/см³) обусловлено минералогическими и текстурно-структурными особенностями руды. Мелкозернистые агрегаты гипергенных минералов, содержащих золото-серебряную минерализацию, заполняют неровные каверны в кварце. При дроблении руды такие агрегаты достаточно легко отделяются от кварца, практически не образуя с ним сродков, но на неровной (кавернозной) поверхности кварца остаются их примазки. Это и служит причиной значительных потерь золота и серебра (табл. 2) при гравитационно-флотационном обогащении, что объяснимо удельным весом (<2,8 г/см³) таких зерен и малой площадью извлекаемого минерала на их поверхности.

Корреляционный анализ достаточно часто используют для прогнозирования технологических свойств и обогатимости различных типов руд. Для

2. Сравнение расчетных (по данным гравитационного анализа) и фактических показателей извлечения золота и серебра из окисленных золото-серебряных руд месторождения Арылах

Фракции плотности, г/см ³	Распределение (суммарное), отн. %		Технологический продукт	Расчетное извлечение, %		Извлечение*			
	Ag	Au		Ag	Au	1		2	
	Ag	Au		Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au
>3,3	62,95	39,66	Гравитационно-флотационный концентрат	66,1	44,9	67,5	58,6	73,4	71,6
2,9–3,3	3,18	5,23							
2,7–2,9	14,04	20,92							
2,6–2,7	14,46	22,75	Цианистый раствор	28,5	45,7	18,5	32,2	17,1	19,9
2,5–2,6	1,09	1,19	Хвосты	5,4	11,4	14	9,2	9,5	8,5
<2,5	0,5	1,72							
Шлам (класс -0,00316 мм)	3,78	8,53							

*Данные технологических испытаний лабораторной пробы (по А.М.Эльберту, 1990 г.): 1 — по схеме II очереди Дукатского ГОКа, 2 — по рекомендованной схеме переработки в замкнутом режиме.

3. Параметры вещественного состава, характеризующие технологические свойства кварц-гидрогетитовых (окисленных) руд месторождения Арылах

Параметр*	Единица измерения	Значение параметра			Q	K _v , %
		Минимальное	Максимальное	Среднее		
$V_{-0,02}$	%	3,55	31,65	12,03	6,00	50
C_{Ag}	г/т	27,79	5306,0	522,73	762,9	146
D_{Ag}	отн. %	0,45	74,04	13,84	11,69	84
C_{Au}	г/т	0,09	27,79	2,65	3,97	150
D_{Au}	отн. %	1,12	99,70	21,04	19,04	91
$V_{>3,3}$	%	0,11	44,14	3,57	5,80	163
$V_{2,9-3,3}$	То же	0,06	37,35	5,08	6,54	129
$V_{<2,9}$	«	51,63	99,82	91,35	10,44	11

* $V_{-0,02}$ — выход шлама; C_{Ag} , C_{Au} — содержания Ag и Au в шламе; D_{Ag} , D_{Au} — доля Ag и Au, связанная со шламами; $V_{>3,3}$, $V_{2,9-3,3}$, $V_{<2,9}$ — выходы фракций плотности; Q — среднеквадратичное отклонение; K_v — коэффициент вариации.

этого проводят статистическую обработку параметров вещественного состава вместе с минералогическими параметрами, характеризующими технологические свойства.

Применение корреляционного анализа для прогноза технологических свойств окисленных серебряных руд рассмотрим на примере обработки данных по кварц-гетитовым золото-серебряным рудам месторождения Арылах. При статистической обработке, помимо данных по содержанию различных химических компонентов, отвечающих определенным минералам, использованы следующие минералогические параметры (табл. 3): $V_{-0,02}$ — выход класса -0,02 мм, характеризующий шламистость руды при одинаковом режиме дробления всех минералогических проб до 1,0 мм; C_{Au} и C_{Ag} — содержания Au и Ag в классе -0,02 мм; D_{Au} и D_{Ag} — доля металла в классе -0,02 мм ($D_{Me} = C_{Me}V_{-0,02}/Me$, где Me — содержание металла в исходной пробе), характеризующая потери золота и серебра со шламами при гравитационно-флотационном обогащении; $V_{>3,3}$, $V_{2,9-3,3}$, $V_{<2,9}$ — относительные выходы соответствующих фракций плотности по всем классам крупности без учета выхода шлама, характеризующие выход гравитационного концентрата.

Все эти параметры рассчитаны после расситовки минералогических проб на классы крупности +1,0, -1,0+0,355, -0,355+0,09, -0,09+0,036, -0,036+0,02, и -0,02 мм и последующего разделения классов крупности >0,02 мм на фракции плотности >3,3, 2,9–3,3, <2,9 г/см³ в тяжелых жидкостях.

Корреляционным анализом установлено, что шламистость руды зависит, в первую очередь, от содержания в ней глинисто-слюдистых минералов и гидрогетита, так как наиболее высокие коэффи-

циенты корреляции (K) с $V_{-0,02}$ отмечаются для содержаний H_2O^+ , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и равны 0,60, 0,46, 0,28 соответственно (табл. 4).

Содержания Au и Ag в шламе находятся в прямой зависимости от содержания их в исходной пробе ($K=0,51$ и $0,42$) и от содержания в исходной пробе Fe_2O_3 ($K=0,40$ и $0,44$). Это свидетельствует о том, что наибольшая доля потерь со шламами будет обусловлена минеральными формами золото-серебряных минералов, ассоциирующих с гидрогетитом. Отрицательная корреляционная зависимость между содержанием Au и Ag в исходной руде и их долями в классе -0,02 мм ($K=-0,25$ и $-0,28$) указывает на то, что с увеличением содержания металлов в руде доля их в шламе уменьшается. Выявленная четкая нелинейная (гиперболическая) зависимость позволяет уверенно говорить о том, что относительные потери металлов со шламами в богатых рудах будут значительно ниже, чем в бедных.

Выход гравитационного концентрата при обогащении руд будет выше при увеличении в руде содержаний гипергенных минералов свинца (свинцовистого ярозита, пироморфита, плюмбогуммита и др.), поскольку наиболее сильные связи для $V_{>3,3}$ установлены с содержаниями Pb и P_2O_5 ($K=0,88$ и $0,75$).

Корреляционный анализ высокоинформативен, и, продолжая интерпретацию полученных результатов, можно обнаружить другие связи и закономерности. Однако большие затраты для получения достаточного количества различных параметров вещественного состава делают его применение не рациональным на ранних стадиях геологоразведочных работ. Он может быть рекомендован только при более детальном изучении объектов, например при минералого-технологическом картировании.

4. Корреляционная матрица состава кварц-пирротитовых руд (окисленных) месторождения Арылах (уровень значимости 0.05, критическое значение 4, число проб 94)

	Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	CO ₂	C _{опр}	H ₂ O ⁺	S _{общ}	SO ₃	S _{св}	V _{-0,02}	C _{Ag}	D _{Ag}	C _{Au}	D _{Au}	V _{>3,3}	V _{2,9-3,3}	V _{<2,9}				
Au	0,66																														
Ag	0,21	0,13																													
Pb	0,24	0,16	0,42																												
Cu	0,06	0,05	0,33	0,25																											
Zn	0,06	0,05	0,33	0,25	Zn																										
Al ₂ O ₃	-0,03	-0,02	-0,17	-0,05	0,36	Al ₂ O ₃																									
SiO ₂	-0,29	-0,14	-0,50	-0,41	-0,58	-0,44	SiO ₂																								
P ₂ O ₅	0,08	-0,04	0,79	0,11	0,44	0,03	-0,29	P ₂ O ₅																							
K ₂ O	-0,09	-0,06	-0,20	-0,13	0,04	0,76	-0,24	-0,05	K ₂ O																						
CaO	0,03	-0,03	0,02	0,05	0,11	-0,07	-0,30	-0,06	-0,12	CaO																					
MnO	0,14	-0,06	-0,04	0,07	0,06	-0,09	-0,18	-0,08	-0,12	0,02	MnO																				
Fe ₂ O ₃	0,36	0,19	0,37	0,36	0,41	0,00	-0,82	0,13	-0,16	0,20	0,35	Fe ₂ O ₃																			
FeO	-0,11	0,01	-0,08	0,04	-0,01	-0,04	0,07	-0,11	-0,03	0,07	-0,05	0,08	FeO																		
CO ₂	0,22	0,21	0,67	0,70	0,16	-0,04	-0,25	0,54	0,02	-0,00	-0,10	0,04	0,05	CO ₂																	
C _{опр}	0,12	-0,03	0,14	0,16	0,22	-0,02	-0,48	-0,02	-0,10	0,85	0,12	0,39	-0,09	0,07	C _{опр}																
H ₂ O ⁺	0,33	0,18	0,32	0,35	0,62	0,47	-0,90	0,22	0,09	0,11	0,22	0,81	-0,15	0,10	0,35	H ₂ O ⁺															
S _{общ}	0,12	0,21	0,40	0,19	-0,08	-0,22	-0,42	-0,03	-0,08	-0,01	0,10	0,50	0,02	0,10	0,16	0,28	S _{общ}														
SO ₃	0,04	0,11	0,37	0,16	-0,11	-0,21	-0,37	-0,04	-0,06	-0,03	0,07	0,45	0,02	0,06	0,14	0,24	0,99	SO ₃													
S _{св}	0,57	0,68	0,22	0,19	0,16	-0,09	-0,28	0,08	-0,17	0,23	0,14	0,32	0,00	0,23	0,23	0,27	0,15	0,02	S _{св}												
V _{-0,02}	0,22	0,17	0,16	0,12	0,28	0,46	-0,47	0,15	0,07	0,09	-0,02	0,28	-0,16	0,04	0,22	0,60	0,08	0,05	0,18	V _{-0,02}											
C _{Ag}	0,26	0,42	0,23	0,24	0,15	-0,19	-0,29	-0,02	-0,19	0,06	0,22	0,44	0,05	0,07	0,09	0,24	0,37	0,30	0,48	0,01	C _{Ag}										
D _{Ag}	-0,31	-0,28	-0,20	-0,21	-0,06	0,29	0,13	-0,05	0,13	-0,01	-0,23	-0,27	-0,13	-0,19	-0,06	-0,05	-0,24	-0,19	-0,27	0,29	D _{Ag}										
C _{Au}	0,51	0,57	0,15	0,24	0,06	-0,15	-0,27	-0,05	-0,12	0,15	0,22	0,40	-0,04	0,09	0,20	0,22	0,27	0,20	0,49	0,08	0,52	-0,34	C _{Au}								
D _{Au}	-0,25	-0,04	-0,16	-0,16	0,02	0,23	0,03	-0,10	0,15	-0,06	-0,28	-0,15	0,05	-0,12	-0,05	0,03	-0,00	0,02	-0,07	0,23	-0,14	0,48	-0,03	D _{Au}							
V _{>3,3}	0,18	0,14	0,88	0,32	0,31	-0,14	-0,55	0,75	-0,19	0,08	0,03	0,53	-0,08	0,54	0,18	0,41	0,35	0,32	0,24	0,21	0,31	-0,18	0,10	-0,14	V _{>3,3}						
V _{2,9-3,3}	0,27	0,08	0,32	0,40	0,37	0,01	-0,79	0,10	-0,13	0,53	0,31	0,86	-0,14	0,12	0,68	0,72	0,36	0,31	0,33	0,25	0,33	-0,18	0,33	-0,16	0,43	V _{2,9-3,3}					
V _{<2,9}	-0,27	-0,13	-0,69	-0,43	-0,41	0,07	0,80	-0,48	0,19	-0,37	-0,21	-0,83	0,14	-0,37	-0,52	-0,67	-0,42	-0,38	-0,34	-0,27	-0,38	0,21	-0,31	0,18	-0,82	-0,86	V _{<2,9}				

Оптико-геометрический анализ традиционно проводится точечным или линейно-дискретным способами [11] в шлифах и аншлифах (недробленые руды), монтированных аншлифах (дробленые руды) под микроскопом с использованием интеграционного столика или полуавтоматического интеграционного счетного устройства для определения количественного минерального состава руд. Для прогноза обогатимости серебряных руд классический минералогический анализ не приемлем из-за низких содержаний в руде серебряных минералов. Поэтому можно предложить методику, объединяющую оптико-геометрический [9, 11] и гранулометрический [3, 5] анализы. Методика основана на положении о том, что объемы зерен соотносятся так же, как их площади в срезе шлифа. Поэтому возможно определение количественных соотношений различных групп минеральных выделений путем суммирования квадратов средних размеров отдельных зерен конкретных групп. Так, при анализе полированных брикетов дробленой до 1,0 мм исходной окисленной золото-серебряной руды месторождения Лунный расчет проводился по следующим группам (табл. 5):

извлекаемые минералы — свободные зерна серебряных минералов, богатые (>30%) сростки, крупные (>0,07 мм) агрегаты гипергенных минералов с золото-серебряной минерализацией; извлекаемые при доизмельчении крупных классов (+0,1 мм) руды — сростки серебряных минералов с нерудными (размер серебряных

5. Оценка раскрытия серебряных минералов и расчет возможного извлечения серебра по малым технологическим пробам руд месторождения Лунный

NN п/п	Распределение серебра, отн. %							Возможное извлечение, отн. %
	Извлекаемое		Извлекаемое при доизмельчении		Вероятные потери		В шламе (класс -0,02 мм)	
	Свободные зерна	Богатые сростки и агрегаты	Сростки и включения с серебряными минералами >0,02 мм	Агрегаты с гипергенными минералами >0,07 мм	Мелкие включения в нерудных минералах (серебряные минералы <0,02 мм)	Агрегаты с гипергенными минералами <0,07 мм		
1	6,1	21,2	33,0	—	20,8	—	18,0	70,2
2	23,2	20,0	32,8	—	14,5	—	9,5	80,8
3	17,4	22,4	26,1	7,7	7,6	1,1	17,7	82,5

минералов >0,02 мм), сростки нерудных минералов с агрегатами гипергенных, несущих серебряную минерализацию (размер агрегатов >0,07 мм);

не извлекаемые при гравитационно-флотационном обогащении минералы — бедные сростки с не-

рудными минералами (размер серебряных минералов <0,02 мм), агрегаты гипергенных минералов с серебряной минерализацией размером <0,07 мм.

Для набора необходимой статистики (замеры по 1000 зернам с серебряными минералами) [3, 5] требовался просмотр 10–15 монтированных аншлифов. После сравнения полученных таким методом данных с результатами гравитационно-флотационного обогащения выяснилось, что прогнозируемое извлечение несколько ниже полученного в ходе технологических испытаний (А.М.Эльберт и др., 1992 г.). Это можно объяснить многими допущениями, принятыми при проведении такого анализа (не учитывались форма зерен, эффект срезания и др.). Кроме того, недостаточно изучен вопрос, какую долю на поверхности сростка должен иметь флотируемый минерал для извлечения его в концентрат, а также каковы минимальные размеры извлекаемых зерен. Помимо этого, некоторая доля теоретически не извлекаемых зерен просто «захватывается» в концентрат.

Несмотря на указанные недостатки, данный прием прогнозирования технологических свойств, благодаря малым трудозатратам на пробоподготовку и экспрессность, может найти широкое применение. Кроме прогноза, метод может использоваться на уже действующих схемах для оценки потерь и возможности доизвлечения при изучении материала хвостов обогащения.

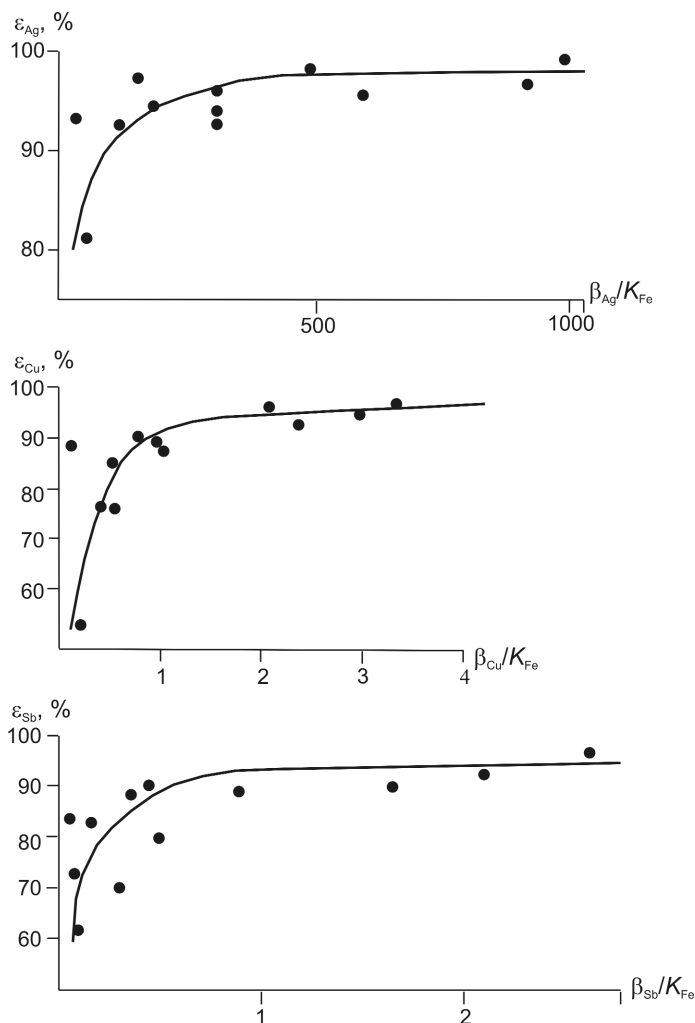


Рис. 3. Зависимость извлечения элементов в концентрат (ϵ) от их содержания в исходной пробе (β) с учетом интенсивности окисления (K_{Fe}) руд месторождения Асгат

7. Технологические свойства окисленных серебряных руд

Минеральная разновидность окисленных руд	Месторождения	Основные причины потерь полезных компонентов и факторы, влияющие на технологические свойства руд	Извлечение* Ag, %		Основные способы переработки
			По гравитационно-флотационным и флотационным схемам	С цианированием хвостов флотации	
Кварц-(ярозит)-гидрогетитовая	Дукат, Арылах, Тидид	Гранулометрия гипергенной серебряной минерализации, повышенная шламистость гипергенных агрегатов, текстурно-структурные особенности руд	52,6–77,6	74,3–97,0	Гравитационно-флотационное обогащение с цианированием хвостов флотации
Криptomелан-родонитовая (марганцевая)	Дукат, Лунное	Гранулометрия гипогенной серебряной минерализации, большое количество оксидов марганца	15,8–73,2		То же
Англезитовая	Дукат, Арылах, Тидид, Гольцовый	Плотные каемочные текстуры	55,3–89,1	81,0–95,1	Гравитационно-флотационное обогащение
Сидерит-гидрогетитовая	Асгат	Нефлотуемые минеральные формы попутных компонентов, оксидные пленочные образования на поверхности рудных минералов, текстурные особенности руд	83,4–98,9		Флотационное обогащение

* Приведено по результатам технологических испытаний лабораторных и малых технологических проб окисленных серебряных руд, проводившихся в ЦНИГРИ под руководством А.М.Эльберта и С.Б.Макарова.

разновидности (табл. 7): гетит-(ярозит)-кварцевую, криptomелан-родонитовую, англезитовую, гетит-сидеритовую.

Гетит-(ярозит)-кварцевые руды труднообогатимы. Руды данной разновидности составляют около 90% руд месторождения Арылах, в значительных объемах имеются на месторождениях Тидид и Гольцовый, а также составляли существенную долю окисленных руд месторождения Дукат [4]. В них практически не сохраняются сульфиды. Гипергенные минералы составляют значительную часть от общего объема руды. Среди них преобладает гетит, значительную долю составляют минералы группы ярозита, встречаются англезит, церуссит, пироморфит, бедантит и др. Среди серебряных минералов преобладают гипергенный акантит, самородное серебро и электрум, реже встречаются реликты гипогенных сульфосолей серебра и редкие гипергенные сульфосоли. Основной жильный минерал — кварц. Характерной особенностью руд данной разновидности является неоднородная по размерам и насыщенности кавернозность в кварце. Каверны заполнены рыхлой массой гипергенных агрегатов, в том числе содержащих серебряную минерализацию. Основная доля потерь золота и сере-

бра при гравитационно-флотационном обогащении обусловлена повышенной шламистостью гипергенных агрегатов, очень мелкими размерами значительной доли золото-серебряных минералов в составе таких агрегатов и структурно-текстурными особенностями руды (на сильно кавернозном кварце остаются при дроблении примазки серебросодержащих гипергенных агрегатов). При этом хвосты флотации руд данной разновидности благоприятны для цианирования, так как золото-серебряные минералы, теряемые со шламами и находящиеся в примазках гипергенных агрегатов на поверхности зерен кварца, доступны для цианидов.

Криptomелан-родонитовые (марганцевые) руды также труднообогатимы. Руды данной разновидности имеются на месторождениях Дукат [4] и Лунный [7]. Преобладающие гипергенные минералы в них — оксиды и гидроксиды марганца, жильные — кварц, родонит, родохрозит. В отличие от руд предыдущей разновидности в окисленных марганцевых рудах существенная доля серебра приходится на гипогенные серебряные минералы, поскольку окисляются они в таких рудах значительно медленнее. Как и руды гетит-(ярозит)-кварцевой разновидности, окисленные марганцевые руды от-

личаются повышенной шламистостью, обусловленной оксидами и гидроксидами марганца, сильно ухудшающей технологические показатели, затрудняющей действие флотореагентов [6]. В то же время, основная доля потерь серебра при гравитационно-флотационном обогащении связана с гранулометрическими характеристиками гипогенной серебряной минерализации. Выделения серебряных минералов очень мелкие, преимущественно это тонкие (<0,02 мм) редкие включения в родоните и родохрозите (см. табл. 5, №№ 1, 2), что существенно затрудняет их извлечение. Руды данной разновидности менее благоприятны для цианирования, чем руды гетит-кварцевой разновидности, хотя цианирование хвостов флотации проводится (С.С.Двуреченская, А.М.Эльберт и др., 1990 г.).

Англезитовые руды легкообогатимы, но это относится только к той их разновидности, которая имеет каемочные текстуры. При этом гипергенный акантит вместе с англезитом, церусситом и ковеллином образует плотные каймы вокруг гипогенных рудных минералов [4], которые легко извлекаются при гравитационно-флотационном обогащении. Если в рудах англезит входит в состав агрегатов гипергенных минералов с рыхлой текстурой, то по своим технологическим характеристикам они будут сходны с гетит-(ярозит)-кварцевыми. В наибольшем объеме англезитовые руды представлены на серебро-полиметаллических месторождениях Тидид и Гольцовый. Участки их распространения имеются и на золото-серебряных месторождениях Дукал и Арылах.

Типичным представителем *гетит-сидеритовых руд* являются окисленные руды месторождения Асгат, относящегося к серебро-сурьмяному типу. Окисление руд данного типа начинается с сидерита, который окисляется первым и более интенсивно, чем рудные минералы. Невысокая степень окисления рудных минералов (до 30–35%) в наиболее окисленных участках позволяет получать неплохие показатели обогащения по флотационной схеме и относить их к легкообогатимым (С.С.Двуреченская, С.Б.Макаров и др., 1991 г.). Из-за высокого удельного веса сидерита, затрудняющего его гравитационное разделение с рудными минералами, гравитационное обогащение для руд данной разновидности не применяется. Хотя первичные и окисленные руды можно отнести к легкообогатимым, степень их окисления все же существенно влияет на технологические показатели, особенно на извлечение попутных компонентов (извлечение серебра в окисленных рудах значительно выше, чем меди и сурьмы). По извлечению попутных компонентов окисленные руды можно отнести к труднообогати-

мым. Это обусловлено тем, что все гипогенные и гипергенные серебросодержащие минералы (блеклая руда, акантит, самородное серебро) флотируются, тогда как большинство гипергенных минералов меди и сурьмы (карбонаты, сульфаты, оксиды и др.) флотационными свойствами не обладают. Кроме того, на показатели обогащения гетит-сидеритовых руд существенно влияет режим их измельчения. С одной стороны, значительная доля полезных компонентов находится в агрегатах гипергенных минералов, образующих плотные каймы вокруг гипогенных. При дроблении они остаются с ними в сростках и, таким образом, извлекаются во флотационный концентрат, что не допускает переизмельчения руды. С другой стороны, значительная доля рудных минералов имеет на поверхности зерен тонкие оксидные пленки, ухудшающие их флотационные свойства. Это требует доизмельчения крупных классов для улучшения раскрытия и получения «свежих» сколов на поверхности зерен рудных минералов.

Итак, хотя гипергенные преобразования серебряных руд и влияют на их технологические свойства, не все окисленные серебряные руды труднообогатимы (табл. 7). На каждом новом объекте требуется предварительное детальное изучение вещественного состава. При этом отнесение руды к одной из перечисленных минеральных разновидностей, а также использование специализированных методов исследования позволяют с высокой степенью вероятности прогнозировать технологические свойства руды и обосновать наиболее перспективные варианты схем их обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вейс Б.Т., Остапенко Л.А.* Особенности поведения рудных минералов при гравитационном обогащении редкометалльных карбонатитов одного из месторождений Восточной Сибири: Тез. докл. конференции молодых ученых к 100-летию Федоровского. – М., 1987. Деп. в ВИНТИ. № 6437 В-87.
2. *Виды и последовательность минералогических исследований для обеспечения технологических работ.* Методические указания НСОММИ. – М.: ВИМС, 1990.
3. *Гранулометрический анализ минералов в недробленной руде (по шлифам и аншлифам).* Инструкция НСОММИ № 47. – М.: ВИМС, 1997.
4. *Двуреченская С.С.* Гипергенные минералы серебряных месторождений. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
5. *Ермаков С.Ф., Иванов О.П., Ефременко Л.Я., Руденко О.А.* Совершенствование прикладного гранулометрического анализа рудных минералов по измерениям в шлифах // Обогащение и металлургия олова. Новосибирск, 1984. С. 28–32.

6. Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. – М.: Недра, 1989.
7. Золото-серебряное месторождение Лунный (Северо-Восток России): геологическое строение и минеральный состав руд / О.Б.Рыжов, С.Ф.Стружков, В.В.Аристов и др. // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 4. С. 309–328.
8. Иванов О.П., Кушпаренко Ю.С., Маришкова Н.К. Технологическая минералогия оловянных руд. – Л.: Наука, 1989.
9. Количественный минералогический анализ дробленых руд. Инструкция НСОММИ № 19-М. – М.: ВИМС, 1990.
10. Технологическая оценка минерального сырья. Опробование месторождений. Характеристика сырья: Справочник / Под ред. П.Е.Остапенко. – М.: Недра, 1990.
11. Чейз Ф. Количественно-минералогический анализ шлихов под микроскопом. Опыт элементарной статистической оценки. – М.: ИЛ, 1963.

УДК 553.461:552.3 (571.54/.55)

© И.Ю.Лоскутов, В.М.Асосков, 2010

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ХРОМИТОНОСНОСТИ ШАМАНСКОГО ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА

И.Ю.Лоскутов (ФГУП «СНИИГГиМС»), В.М.Асосков (Новосибирский филиал ФГУ ГКЗ)

На основе почти 200 полных силикатных анализов пород с использованием оригинальной авторской методики и геологических данных дается прогноз на обнаружение хромитовых руд в Шаманском гипербазитовом массиве — самом крупном в Байкало-Муйском офиолитовом поясе.

Ключевые слова: гипербазиты, хромитовые руды, метод поиска, оценка перспектив.

Лоскутов Илья Юрьевич, ilia63@mail.ru, Асосков Владимир Максимович, asoskov_gkz@mail.ru

ESTIMATION OF POTENTIAL CHROMITE CONTENT IN THE SHAMAN ULTRABASIC MASSIF

Loskutov I.Yu., Asoskov V.M.

Prediction for chromite ore in the Shaman ultrabasic massif — the largest one in the Baikal-Muya ophiolite belt, is given based on 200 chemical analysis of rocks, using original author's technique and geological data.

Key words: ultrabasite, chromitite, method of search, perspective evaluation.

Задача поиска хромитовых руд для обеспечения России собственными ресурсами не теряет своей актуальности. Нами предпринята попытка оценить потенциальную хромитоносность Шаманского гипербазитового массива как наиболее крупного (110 км²) в Парамском гипербазитовом поясе. В регионе с ним сопоставим по размерам лишь Парамский массив (80 км²) [6], а остальные значительно меньше (до 14 км²).

Массив расположен на северо-восточном окончании Байкало-Муйского офиолитового пояса в пределах Станового нагорья на правобережье р. Витим (рис. 1). Административно — это северо-запад Читинской области (с 2008 г. — Забайкальский край) вблизи границы с Бурятией. Северное окончание объекта исследований находится в 12 км южнее трассы БАМ. Гипербазиты обнаружены в 1960 г., а сам массив закартирован в 1961–1963 гг. при геологической съемке м-ба 1:200 000 [2, 3].

Геоморфологически объект исследования выделяется в виде обособленного горного хребта,

примыкающего с юга к Южно-Муйскому хребту. Гора Шаман в северной части массива имеет относительное превышение над уровнем р. Витим >1800 м.

В плане выходы ультрамафитов представляют собой овальное тело, ориентированное в северо-северо-западном направлении. Максимальная ширина его 6 км, длина 26 км, площадь около 110 км² (рис. 2). Гипербазитовый массив сложен большей частью в различной степени серпентинизированными гарцбургитами (средняя степень серпентинизации 70%) [5]. На северном склоне горы Шаман отмечена полосчатая серия пород мощностью 7 м. Здесь дуниты и лерцолиты присутствуют в виде полосок мощностью 0,5–20 см с субвертикальным падением и ориентировкой согласно удлинению массива. Значительное развитие имеют зоны магневого метасоматоза (талък, магнезит, хлорит), приуроченные к разломам и краевым частям массива.

Контакты массива с вмещающими протерозойскими метаморфическими образованиями —

тектонические. Поверхности круто погружаются навстречу друг другу. Согласно геофизическим данным тело ультрабазитов по конфигурации приближается к эллиптическому конусу (основание вверх). Расчетная вертикальная мощность массива по гравитационному полю 3,5–4,5 км. Ультрамафиты приурочены к Таксимо-Парамской зоне глубинных разломов, расположенной в северо-восточном окончании раннепротерозойского Байкало-Витимского зеленокаменного пояса [10].

Слагающие массив породы относятся к дунит-гарцбургитовой субформации гипербазитовой (офиолитовой) формации, вмещающей наиболее привлекательный для промышленности тип эндогенного оруденения хромитов. Как известно, вторым эндогенным источником хрома являются месторождения стратиформного типа, связанные с перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формацией расслоенных массивов, но характеризующиеся большей глиноземистостью руд.

На рассматриваемой площади известно около 15 точек хромовой минерализации, объединяемых в три перспективных на хромиты участка — Центральный, Южно- и Северо-Шаманский. На двух последних утверждены ресурсы категории P_2 , составляющие 20 млн. т руды. Для всего массива ресурсы хромитовых руд категории P_3 оцениваются в 40 млн. т [8]. Хромитовые рудопроявления массива относятся к категории сложных жиллообразных залежей. Это жилы, столбы, линзы, гнезда с высокой изменчивостью морфоструктурных параметров и низкой–средней изменчивостью содержаний хромшпинелида. Руды массивные вкрапленные, на Южно-Шаманском проявлении встречены нодулярные. Содержания Cr_2O_3 в рудах от 18 до 49,5%, наиболее высокохромистые на Северо-Шаманском участке.

По имеющимся описаниям гипербазиты Северо-Шаманского участка наиболее близки к самому перспективному на хромитовое оруденение дунит-гарцбургитовому структурно-вещественному комплексу [11]. В пользу этого свидетельствуют: наличие истощенных гарцбургитов (5–10% пироксена), оруденения высокохромистого магнезиального типа, постепенных переходов от гарцбургитов к дунит-

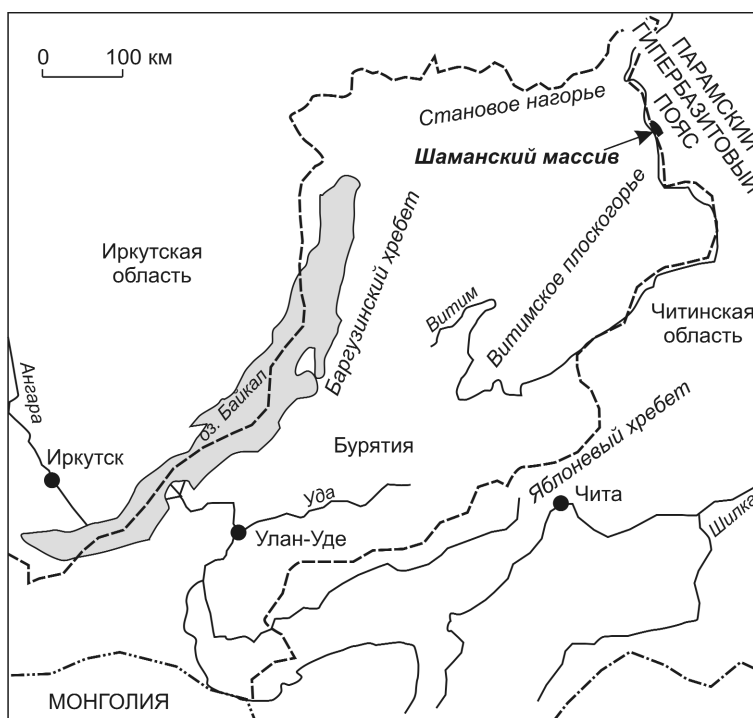


Рис. 1. Схема расположения Шаманского гипербазитового массива

там, что можно рассматривать как парагенерацию гарцбургитов со шлирово-полосчатым выделением дунитов.

В то же время, исходя из той же довольно ограниченной петрологической информации, нельзя исключать, что на Южно-Шаманском участке могут присутствовать породы гарцбургитового структурно-вещественного комплекса, на что указывает повышенная глиноземистость хромитов.

На Северо- и Южно-Шаманском рудопроявлениях массива намечается приуроченность высокохромистых руд к нижним, а высокоглиноземистых — к верхним частям разреза, что характерно для хромитовых рудопроявлений офиолитовой формации [9].

Рассматривая возможности обнаружения на массиве хромитовых руд, следует обратить внимание и на сильно расчлененный рельеф района, наличие значительного количества коллювиальных и ледниковых отложений, способных перекрывать коренные выходы хромитов. Для последних одним из геоморфологических поисковых признаков нередко служат отрицательные формы рельефа над залежами, обусловленные большей хрупкостью хромитов по сравнению с вмещающими породами [11].

Обработка имеющихся силикатных анализов гипербазитов массива (материалы Е.А.Зайкова [4]) позволила нам дать предварительный прогноз их

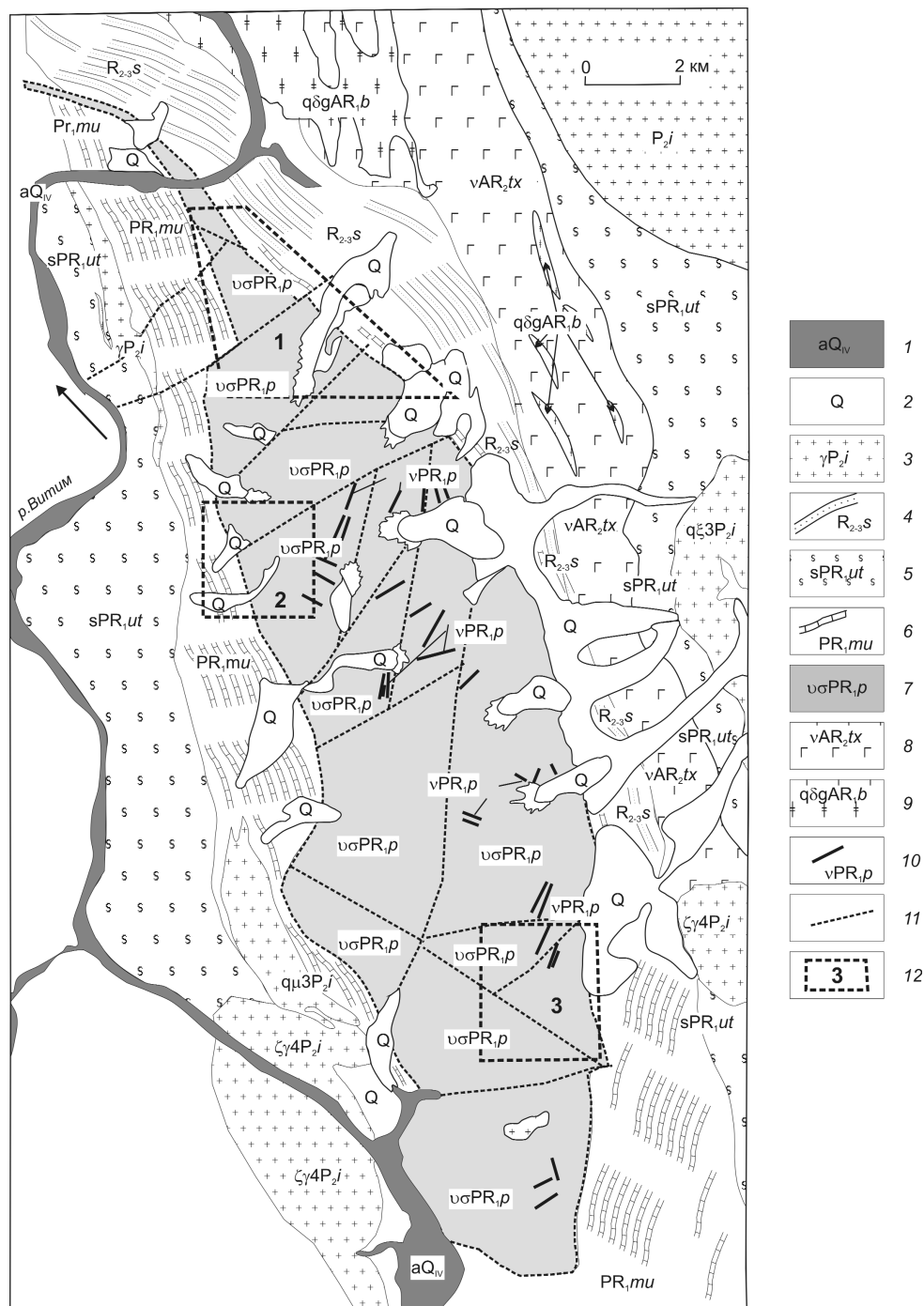


Рис. 2. Геологическая схема Шаманского гипербазитового массива, по материалам Е.А.Зайкова [4]:

1 — аллювиальные отложения р. Витим (валунники, галечники, пески, суглинки) (квартер); 2 — отложения квартера нерасчлененные; 3 — позднепермский Ингамакитский комплекс (третья фаза — кварцевые сиениты, кварцевые монцоидориты, $q\zeta_3P_2i$, четвертая фаза — субщелочные граниты, $e\gamma_4P_2i$); 4 — средне-верхнерифейская самодуровская серия, таксиминская, малокушеровская свиты (метапесчаники, метааллевропесчаники, метаконгломераты, в кровле — известняки мраморизованные); 5 — раннепротерозойский Усть-Тулдунский динамометаморфический комплекс (микросланцы, сланцы); 6 — нижнепротерозойская муйская серия, косинская, шаманская, большекосинская, широкоинская свиты (мраморы, микросланцы, мраморы доломитовые); 7 — раннепротерозойский Парамский комплекс (гипербазиты); 8 — позднеархейский Таксиминский комплекс (первая фаза — габбро); 9 — раннеархейский Бургайский комплекс (диафторитовые кварцевые диорито-гнейсы, плагиогранито-гнейсы, $p\gamma g$); 10 — дайки габбро (Парамский комплекс); 11 — разрывные нарушения; 12 — контуры перспективных хромитонесущих участков (1 — Северо-Шаманский, 2 — Центральный, предполагаемый, 3 — Южно-Шаманский)

потенциальной хромитонности по петрохимическим данным с использованием оригинальной авторской методики оценки хромитонности альпинотипных гипербазитов [7]. Данный метод апробирован при поисковых работах на хромититы на Тогул-Сунгайском массиве (Центральный Салаир) в конце 80-х годов прошлого века. Тогда по петрохимическим критериям было выделено три перспективных площади для заверочного бурения, на двух из которых скважинами глубиной 300 м подсечены зонки мощностью до 5 см, выполненные сливным и густовкрапленным хромитом, а на третьей обнаружена зона магниевого метасоматоза. Это позволяет рекомендовать разработанный метод для решения двух поисковых задач: выбора из ряда объектов наиболее перспективного и выделения перспективных участков в пределах конкретного ультраосновного тела (локализация поисковых работ).

Оценка Шаманского массива проводилась путем обработки двух групп силикатных анализов, различающихся по количеству проанализированных компонентов. Первая группа довольно равномерно распределена по площади массива, вторая характеризует вмещающие породы двух участков оруденения. Для первой использованы 158 анализов содержаний петрогенных компонентов без определения Cr_2O_3 (что необходимо для полного дискриминантного уравнения хромитонности) в следующих петрографических разностях — гарцбургиты серпентинизированные (100 штук), серпентиниты (20), гарцбургиты (18), дуниты серпентинизированные (9), метасоматиты, в том числе тальк, магнезит, серпентин, амфибол (7), лерцолит (1), лерцолит серпентинизированный (3). Анализируемые породы этой группы довольно равномерно распределены по площади Шаманского массива.

Породы второй группы (27 силикатных анализов) — главным образом гарцбургиты, два серпентинизированных дунита и один серпентинизированный гарцбургит, вмещающие хромитовое оруденение (Южно- и Северо-Шаманский участки), анализировались с определением Cr_2O_3 и NiO (возможен расчет по полному дискриминантному уравнению).

Для первой группы данных нами рассчитано полное уравнение — $Z3$ (рис. 3, *a*). При подсчете для концентраций Cr_2O_3 условно принято значение 0,2%. Из рассмотрения исключены анализы метасоматитов (7 штук) и лерцолитов (4). Таким образом, общий объем выборки составил 147 анализов. Как видим из рисунка, преобладающая часть значений уравнения — положительные, со средним значением в интервале +10...+15 (среднее +10,3). Расчеты по укороченным формулам дали примерно тот же процент положительных значений. Среднее по

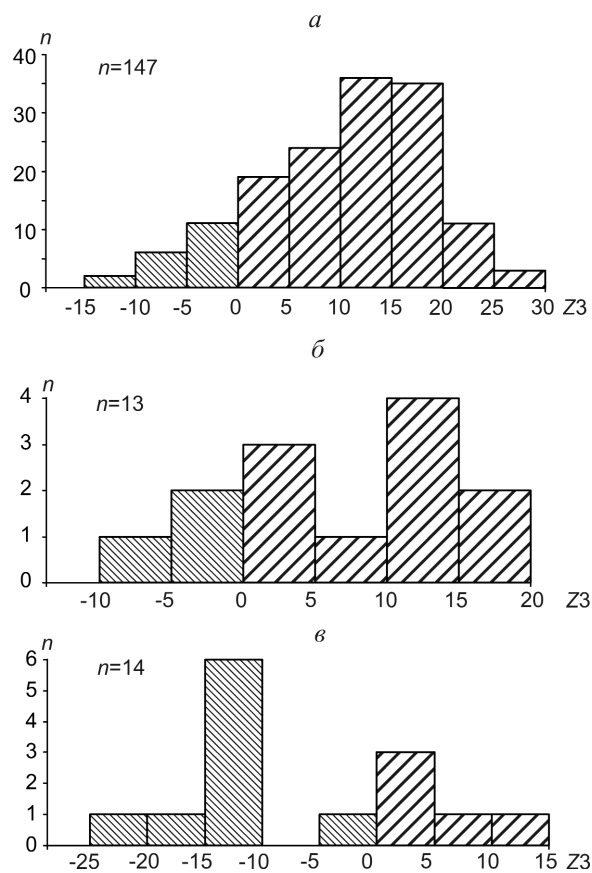


Рис. 3. Характер распределения значений дискриминантного уравнения ($Z3$) потенциальной хромитонности ультраосновных пород Шаманского гипербазитового массива (*a*), Верхне-Шаманского (*б*), Южно-Шаманского (*в*) участков:

здесь и далее n — число анализов

первому уравнению +4,99, по второму +5,4. На примере одной из скважин Кемпирсайского массива, данные по которой не вошли в эталонные выборки, отмечается, что надрудные горизонты характеризуются значениями $Z3=0+10$, редко отрицательными, а непосредственно рудовмещающие серпентиниты уже более высокими цифрами, максимум +35 [1]. Исходя из эмпирических данных было рекомендовано считать максимально перспективными серпентиниты со значением $Z3 > 10$. Учитывая, что по Шаманскому массиву проведено только поверхностное опробование, а также общую тенденцию роста значения уравнения с глубиной, авторы считают перспективными породы массива на обнаружение хромовых руд на основе ранее разработанной методики [7].

Выборка из 27 анализов (вторая группа) по Южно- и Верхне-Шаманскому участкам массива позволяет сравнить перспективность каждого из

них на обнаружение хромитов по петрохимическим параметрам (см. рис. 3, б, в). Верхне-Шаманский участок соответствует западной части Центрального участка [8]. Несмотря на ограниченное число анализов, большая перспективность Верхне-Шаманского участка по сравнению с Южно-Шаманским, где преобладают отрицательные значения уравнений, очевидна.

Средний состав исследованных пород дает основание достаточно высоко оценить потенциальную хромитоносность массива. Это обосновывается большим процентом положительных значений дискриминантных уравнений методики (89%). Другими словами, статистически состав исследованных гипербазитов Шаманского массива почти на 90% аналогичен серпентинитам Кемпирсайского массива Урала, вмещающего хромитовые месторождения. Однако породы Шаманского массива менее серпентинизированы (среднее содержание ППП 7,66%), чем эталонные уральские (среднее ППП 12,23%) [8]. Более конкретные результаты должны дать площадные (а лучше объемные) петрохимические исследования пород массива с привлечением других геологических (геофизических) методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Велинский В.В., Лоскутов И.Ю.* Дискриминантный анализ петрохимических признаков — эффективный метод оценки рудоносности геологических объектов (на примере массивов альпийских гипербазитов) // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. 1991. Вып. 6. С. 28–32.
2. *Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Сер. Прибайкальская. Лист N-50-П.* Объяснительная записка / Составитель Г.А.Кибанов, редактор В.Л.Тихонов. — М., 1971.
3. *Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Сер. Байдинская. Лист О-50-XXXII.* Объяснительная записка / Составитель Е.Е.Зеленский, редактор А.А.Мальшев. — М., 1978.
4. *Геологическое строение Читинской области.* Объяснительная записка к геологической карте м-ба 1:500 000 / К.К.Анашкина, К.С.Бутин, Ф.И.Еникеев и др. — Чита, 1997.
5. *Грудинин М.И.* Базит-гипербазитовый магматизм Байкальской горной области. — Новосибирск: Наука, 1979.
6. *Гурулев С.А., Шагжиев К.Ш., Сутурин А.Н.* К оценке хромитоносности гипербазитов Парамского комплекса // Хромиты Урала, Казахстана, Сибири и Дальнего Востока. М., 1974. С. 170–175.
7. *Лоскутов И.Ю., Велинский В.В.* Петрохимические критерии оценки хромитоносности альпийских гипербазитов // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 51–57.
8. *Минерально-сырьевые ресурсы Читинской области (инвестиционные предложения) / Ю.Ф.Харитонов, В.С.Чечеткин, Г.А.Шевчук и др.* — Чита, 2003.
9. *Николаев В.И.* Хромитоносные геологические формации с крупными месторождениями и высококачественными рудами // Отечественная геология. 1998. № 4. С. 58–63.
10. *Перидотиты Парамского массива (Байкало-Патомская область) / В.С.Гладких, Г.С.Гусев, А.И.Песков и др.* // Советская геология. 1988. № 5. С. 85–95.
11. *Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Т. 2. / Под ред. В.Т.Покалова.* — М.: Недра, 1977.
12. *Реестр хромитопроявлений в альпийских ультрабазитах Урала / Под ред. Б.В.Перевозчикова.* — Пермь: КамНИИКИГС, 2000.

УДК 553.81.04 (470.22+480)

© К.В.Громцев, 2010

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ АЛМАЗОНОСТИ КУУСАМО-КОСТОМУКШСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

К.В.Громцев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Приведены результаты дистанционного анализа Куусамо-Костомукшской площади — области Балтийского щита с известными проявлениями кимберлитового и лампроитового магматизма. Использовалась как первичная дистанционная информация, так и многочисленные ее трансформации. Анализ проводился визуальными и компьютерными методами целенаправленно для выделения информации о позиции разноглубинных очагов активизации. Полученные данные позволили очертить участки локализации таксона ранга кимберлитового поля.

Ключевые слова: кимберлиты, дистанционное зондирование, оценка, алмазность, прогноз, дешифрирование.

Громцев Кирилл Владимирович, k_gromtsev@mail.ru

THE ASSESSMENT OF THE DIAMONDIFEROUSITY OF KUUSAMO-KOSTOMUKSHA AREA ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

К.В.Громцев

It is given results of the remote analysis of Kuusamo-Kostomuksha area. It is an area of Baltic shield with the known occurrences of kimberlite and lamproite magmatism. It was used both the primary remote information and its numerous transformations. The analysis was made by visual and computer methods purposefully for the allocation of the information about the position of the variable-depth centers of activation. The obtained data has allowed to allocate areas with localization of taxon like the field of kimberlite.

Key words: kimberlites, remote sensing, rate, diamondiferosity, prognosis, decryption.

Одна из основных задач прогнозно-поисковых работ на алмазы — локализация перспективных площадей — обычно решается на основе глубинного геолого-геофизического районирования. В то же время, ее решение возможно на основе дешифрирования космических снимков, позволяющих картировать следы проявления на поверхности глубинных магматических очагов. Возможность этого метода убедительно показана в монографии Ю.Н.Сорокурова с соавторами [9]. С его помощью автором проведен анализ и оценка перспектив Куусамо-Костомукшской площади — участка Балтийского щита с известными проявлениями кимберлитового и лампроитового магматизма.

Идеология проведения дистанционных прогнозных работ на алмазы достаточно подробно изложена в ранее опубликованных работах [3, 5, 9]. Анализ космических снимков с российских искусственных спутников Земли, проведенный в начале 90-х годов прошлого века на ряде алмазодержащих площадей мира [4, 6, 7], показал, что в их ландшафтах присутствуют следы радиально-кольцевых структур диаметром от 200 до 20 км. Было высказано предположение, что возникновение данных структур обусловлено либо волновыми энергетическими импульсами, способствующими быстрой транспортировке кимберлитовой магмы из мантии к поверхности, либо активизацией подкорковых и внутрикорковых магматических очагов, где мантийные флюиды эволюцио-

нировали с отделением кимберлитов в периоды активизации. В пользу этого предположения свидетельствовали независимая позиция структур относительно поверхностного геологического строения регионов, отражение в современном рисунке речной сети, связь с элементами строения наблюдаемых и трансформированных геофизических полей.

Впервые понятие «очаговая структура» введено М.Н.Фаворской и И.Н.Томсоном в 1968 г. для характеристики вскрытых эрозией концентрически зональных купольных и кальдерообразных кольцевых морфоструктур диаметром до 50 км, образовавшихся при внедрении интрузий разного состава. Затем оно было расширено до понятия «очаговая магмотектоническая структура», распространяющегося и на образования диаметром в сотни и тысячи километров. Общее определение подобных структур — «изометричные в плане морфоструктуры взрывной и плутоногенной природы, имеющие концентрически зональное строение и своеобразный внутренний структурно-тектонический каркас, состоящий из системы радиально-концентрических эндогенных нарушений».

Причину образования структур такого рода исследователи видят в глубинных взрывах, обусловленных импульсивными подъемами углеродно-водородных потоков к земной поверхности вследствие дегазации ядра Земли [1, 2, 10]. Взрывы внутри очагов приводили к образованию камер сжатия, а по пе-

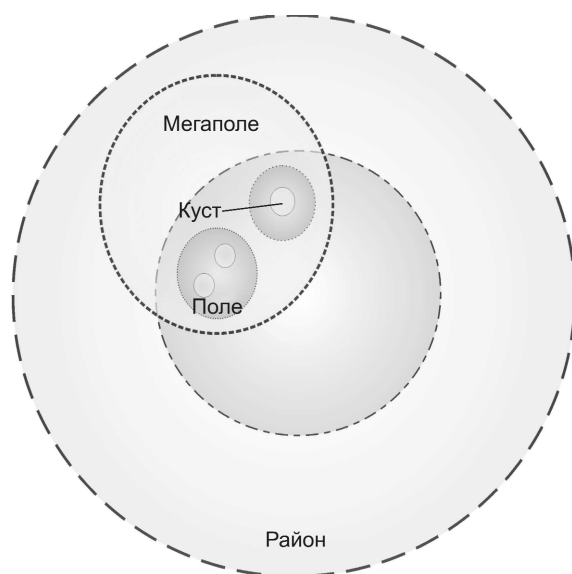


Рис. 1. Идеализированная модель очаговой кимберлитопроизводящей системы на современной поверхности, по [3]

риферии в окружающей среде — сферических зон дробления и трещинообразования. На поверхности деформации выражались округлыми морфоструктурами центральной симметрии, рассеченными сетью радиальных и кольцевых разломов, а в разрезе — тектоническими конусами разрушения. Разломы, формирующие такие конусы, благоприятствовали достижению кимберлитами, в том числе и алмазносными, земной поверхности того периода. Часто процессы активизации приповерхностных очагов проявлялись неоднократно, что подтверждается присутствием в ряде кимберлитовых трубок нескольких фаз внедрения. Модель подобного процесса была рассмотрена еще в работах В.В.Соловьева в 1978 г. и несколько уточнена О.П.Сторожуком в 2003 г., уделявшим им большое внимание.

Различают [3] четыре энергетических уровня, обеспечивающих продвижение глубинных магм к поверхности, — подкорковый, ниже-, средне- и верхнекорковый, которые проявлены структурами соответствующего размера. Проекция этих процессов на земной поверхности предлагается рассматривать в качестве критериев, которые в совокупности с другими способны контролировать таксоны в ранге от «района» до «куста кимберлитового магматизма». Идеализированный вариант поверхностного проявления разноглубинных очагов активизации представлен на рис. 1.

Материалы глобального уровня генерализации дают возможность установить наиболее крупные структуры и понять их металлогеническую (минерогеническую) специализацию для регионов в целом, а континентального и регионального уровней информативны при выделении структур и блоков, которые тем или иным образом контролируют таксоны в ранге «район кимберлитового магматизма». Материалы высокого разрешения несут информацию о деталях строения крупных структур, влияющих на локализацию таксонов в ранге «поле и куст кимберлитового магматизма».

Данные подходы реализованы при проведении региональной дистанционной оценки перспектив алмазносности всей территории Северо-Запада России и прилегающих территорий Финляндии [8] по материалам низкого разрешения. В результате было выделено несколько площадей, которые рассматривались в качестве перспективных для формирования районов кимберлитового магматизма. Одной из них стала Куусамо-Костомукшская площадь, отнесенная к группе с хорошими перспективами и рекомендованная для более детальных дистанционных работ, результаты которых изложены ниже.

Работы проведены на площади 60 000 км², что позволило полностью охватить контуры подкорковой структуры активизации, ответственной за весь одноименный район кимберлитового магматизма, выделенный на предыдущем этапе работ. Две трети площади расположены на территории Финляндии и лишь восточная ее часть охватывает приграничные районы Карелии. Основной геоморфологический элемент площади — Западно-Карельская возвышенность, протягивающаяся в меридиональном направлении на 130 км. Ее западная часть состоит из отдельных куполовидных возвышенностей, центральная — из длинных высоких и узких гряд (особенно в южной части), а восточная — холмистая, ограниченная на северо-востоке и юго-западе заболоченными равнинами. Абсолютные высоты здесь достигают 417 м. Значительная часть площади покрыта таежными еловыми и сосновыми лесами. Речная сеть достаточно густая, много озер различного размера.

Анализ изданных геологических карт России и Финляндии показывает, что основная часть площади расположена на архейском кратоне, преобладающую часть которого формируют гранитоиды раннего архея при подчиненной роли вулканогенно-осадочных пород гимольской серии (поздний архей), которые выполняют ряд узких зеленокаменных прогибов.

На финской части площади известно два кимберлитовых поля — Куусамо и Кухмо рифейского возраста, а также рифейские лампроиты Лентиира. В их пределах насчитывается более 20 тел кимберлитов. В российской части также обнаружены рифейские слабоалмазносные лампроиты в районе

Костомукши, размещенные в кристаллических сланцах и железистых кварцитах позднеархейского (лопийского) зеленокаменного пояса. Они представлены дайками мощностью от 0,2 до 12 м, которые формируют вытянутые в субмеридиональном направлении рои длиной до 5,5 км и шириной до 2,8 км. Дайки прослежены скважинами на глубину до 680 м.

Для установления признаков проявления нижне- и среднекоровых активизационных процессов использованы фрагменты мозаики из космических снимков «Ландсат» (три спектральных канала — красный, синий и зеленый). Кроме того, анализировались цифровой рельеф ГТОРО30 и рисунок речной сети.

Все материалы подвергались предварительной обработке, позволившей увеличить их информативность и получить многочисленные трансформации, информирующие о специфических особенностях ландшафта и рельефа. На промежуточных схемах дешифрирования фиксировались элементы искомым структур, а также визуализировались их тоновые, цветовые и текстурные образы.

Анализ трансформаций показал, что здесь не существует четко выраженных разломов, позволяющих однозначно фиксировать следы вертикального перемещения блоков. Улавливаются лишь слабопроявленные зоны трещиноватости и катаклаза, картируемые по осложнениям рельефа, ареалам распространения растительности, особенностям поведения водотоков и т.д. Суммирование всей совокупности этих данных позволило визуализировать признаки разноглубинных очаговых процессов, которые накладываются на тектоническую раму более ранних и поздних структур.

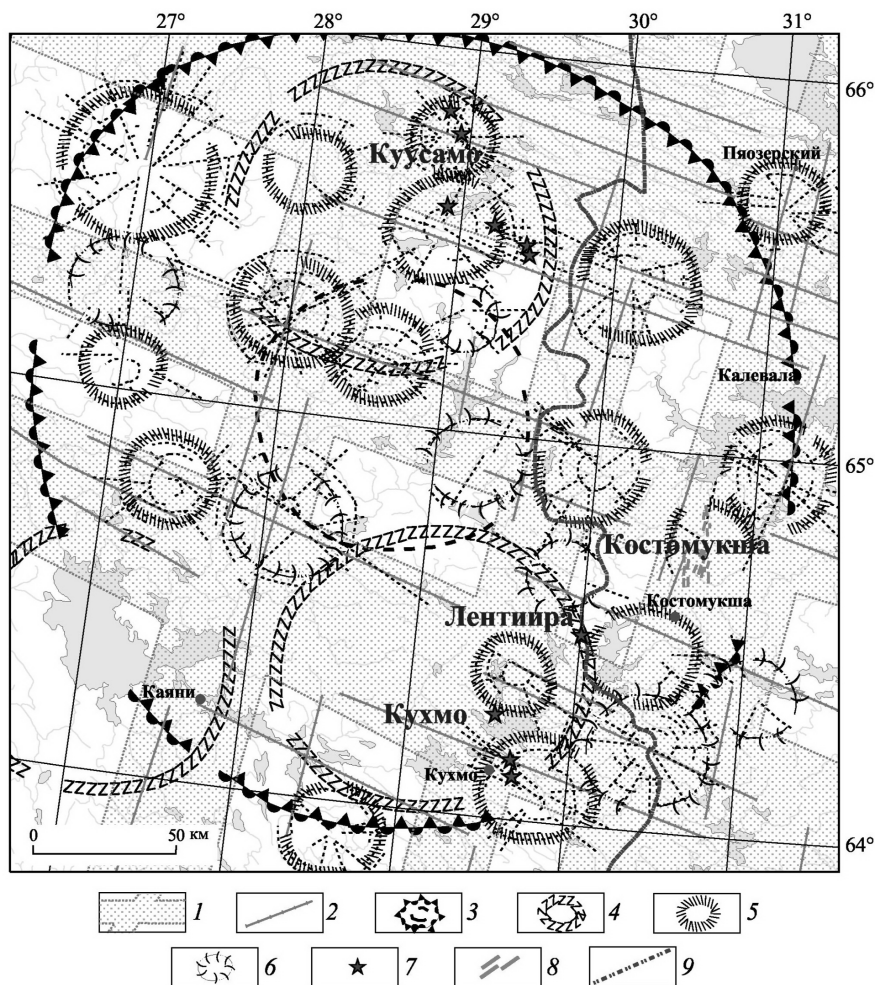


Рис. 2. Позиция следов разноглубинных очаговых структур по результатам анализа дистанционных материалов низкого и среднего разрешения:

1 — линейные и дуговые дислокации земной коры регионального ранга; 2 — основные сквозные линейменты; границы: 3 — кольцевой структуры диаметром 240 км и контур ее ядерной части, границы: 4 — кольцевых структур диаметром 75–90 км, границы: 5–6 — границы структур диаметром 17–45 км 1-го и 2-го рангов соответственно; 7 — известные кимберлитовые тела; 8 — лампроитовые дайки; 9 — государственная граница

В результате обобщения данных подтверждено присутствие на площади кольцевой структуры купольной морфологии диаметром около 240 км, осложненной радиальными разломами. Выделена серия кольцевых структур, позиция и размеры которых указывают на наличие в ее контурах нижне- (диаметр 75–90 км) и среднекоровых очагов активизации (диаметр 17–45 км).

Для уточнения позиции последних и более надежной визуализации еще более мелких кольцевых структур, часть из которых способна отражать приповерхностные очаги активизации, проанализированы оригинальные сцены космической съемки со спутника «Ландсат». Они содержат шесть спек-

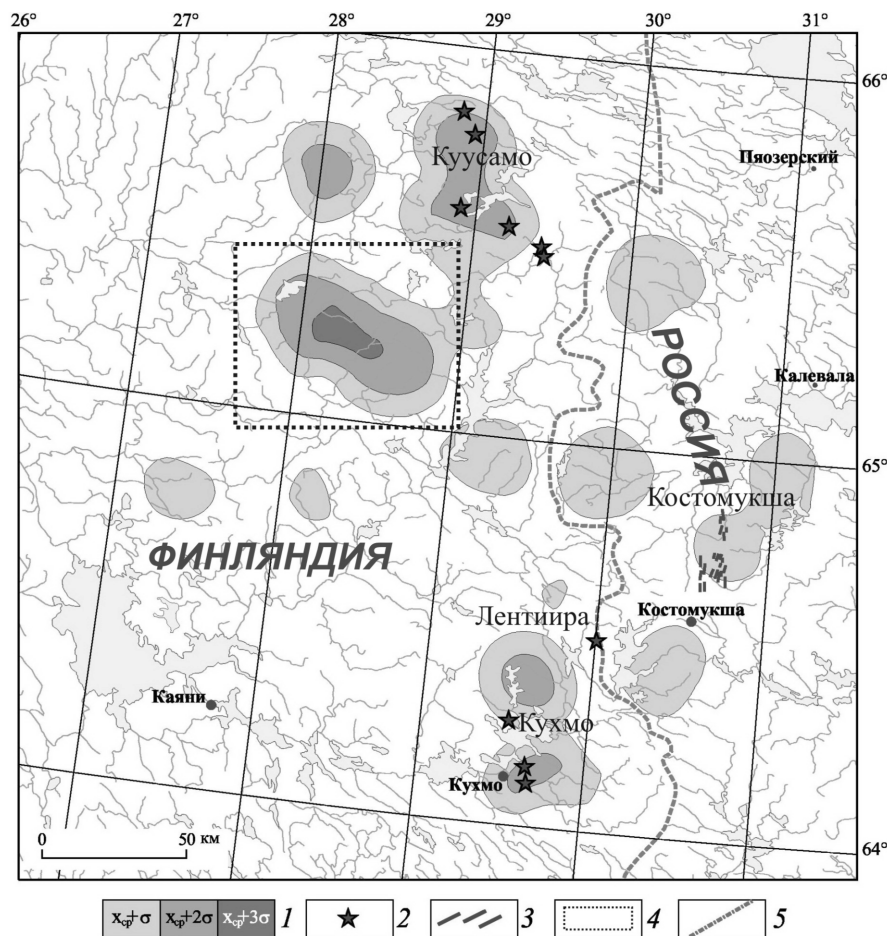


Рис. 3. Схема размещения участков, благоприятных по комплексу дистанционных факторов для локализации «полей» кимберлитового (лампроитового) магматизма:

1 — аномалии присутствия благоприятных факторов; 2 — известные кимберлитовые тела; 3 — дайки лампроитов; 4 — область с максимальным совпадением благоприятных признаков; 5 — государственная граница

тральных каналов с разрешением от 30 до 60 м и один панхроматический канал с разрешением 15 м. Для каждой сцены проведен весь комплекс необходимых трансформаций и выполнено специализированное дешифрирование искомых элементов.

Пространственное суммирование полученной информации по данным анализа первичных материалов и различных блоков их трансформаций позволило визуализировать искомые структуры, оценить степень их проявления на поверхности, особенности внутреннего строения, морфологию и другие параметры. Дополнительно к анализу привлекались геофизические поля (гравитационное и магнитное) и результаты их трансформаций. По результатам анализа все структуры разделены на две группы — проявленные хорошо и слабо.

Сводные результаты анализа вынесены на специализированную космоструктурную схему Куусамо-Костомукшской площади, в упрощенном виде представленную на рис. 2. Основным информационным ее содержанием являются контуры на современной поверхности разноглубинных очагов активизации и крупнейшие линейные осложнения ландшафта. В качестве дополнительной информации на схеме показана позиция уже известных тел кимберлитов и лампроитов.

Компьютерное суммирование благоприятных структурных факторов с определенной количественной их оценкой на этапе кодирования дало картину пространственного размещения участков с аномальным их присутствием (рис. 3). Изолиниями со значениями более одного стандартного отклонения ($x_{cp} + \sigma$) на Куусамо-Костомукшской площади выделено 11 аномалий разной величины и конфигурации. Общая их площадь составля-

ет не более 15% от оцениваемой. Значения $>(x_{cp} + 2\sigma)$ отмечены только в двух аномалиях, а $>(x_{cp} + 3\sigma)$ — в одной.

Все относительно интенсивные аномалии расположены на территории Финляндии. Две из них пространственно совпадают с уже известными участками проявления лампроитов (Ленттиира) и кимберлитов (Куусамо и Кухмо), остальные могут маркировать еще неизвестные поля мантийного магматизма. Наиболее перспективна аномалия, располагающаяся юго-западнее известного кимберлитового поля Куусамо в Финляндии. Ее интенсивность обусловлена максимальным совпадением разномасштабных благоприятных факторов — линейных тектонических зон, проекции на земную поверхность подкорового очага активизации и его ядерной части, проекций

нижне- и среднекоровых очагов активизации. Поля Кухмо, Лентиира и Куусамо обладают относительно низким потенциалом алмазности, так как находятся в периферической части подкоровой очаговой структуры активизации.

В пределах российской части площади существуют четыре аномалии более низкой ($x_{cp} + \sigma$) интенсивности. С одной из них пространственно совпадает Костомукшское поле лампроитов, расположенное в краевой части подкоровой структуры и за пределами нижнекоровых структур. Выделенные перспективные участки рекомендуются для постановки дальнейших детальных дистанционных работ как площади второй очереди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений / М.А.Фаворская, И.Н.Томсон, В.А.Баскина и др. – М.: Недра, 1974.*
2. *Маракушев А.А. Рудоносность взрывных кольцевых структур // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 6. С. 500–511.*
3. *Серокуров Ю.Н. Возможности материалов дистанционного зондирования при выделении площадей, перспективных для поисков кимберлитов // Отечественная геология. 2006. № 3. С. 6–11.*
4. *Серокуров Ю.Н. Использование материалов космического зондирования при прогнозе и поисках коренных месторождений алмазов // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 30–38.*
5. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Системы очаговых магмотектонических структур — основной фактор контроля фанерозойского магматизма в районе Зимнего Берега // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 43–48.*
6. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Структурная позиция кимберлитов на Сибирской платформе по данным изучения космических материалов // Геология и разведка. 1994. № 5. С. 74–80.*
7. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. Факторы контроля провинций, субпровинций и районов проявления алмазоносных пород // Отечественная геология. 1994. № 1. С. 3–8.*
8. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В. Дистанционная оценка алмазоносного потенциала северо-западного региона России // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 48–52.*
9. *Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. – М.: Недра, 2001.*
10. *Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения // Советская геология. 1968. № 9. С. 73–86.*

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411 (571./15)

В.О.Конышев, 2010

О СОСТАВЕ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА В МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЯХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.О.Конышев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

В рудах месторождений и рудопроявлений золото-сульфидно-кварцевой формации Восточных и Западных Саян, Кузнецкого Алатау и Верхоянского района Саха-Якутии выявлено самородное золото разного состава. В минералах ранних парагенетических минеральных ассоциаций распространено относительно высокопробное золото, более поздних — золото средней и низкой пробы вплоть до электрума и кюстелита. На различных гипсометрических уровнях глубоко вскрытых месторождений, как правило, минеральные ассоциации присутствуют в различных количественных соотношениях, что обуславливает зональность отложения рудного вещества. С учетом эволюции состава золота рассмотрены вопросы рудообразования и прогнозирования глубины эрозионного среза.

Ключевые слова: парагенетическая минеральная ассоциация, проба золота, месторождение, зональность руд.

Конышев Вилли Оттович, dnms@tsnigri.ru

THE COMPOSITION OF NATIVE GOLD IN MINERAL'S ASSOCIATION OF GOLD MINE IN ALTAY-SAYAN AREA

V.O.Konyshv

Native gold of different composition was found out in the ore occurrence of gold-sulfide-quartz formation in Eastern and Western Sayan, Kuznetsk Alatau and Verkhoyansk region of the Sakha (Yakutia) Republic. Fine gold is contained in minerals of early paragenetic association, middle and low-purity gold up to electrum and kyustelita is contained in minerals of late paragenetic association. At different hypsometric level of deeply open deposit, mineral's association is presented in different proportion, that causes the zonality of ore's substance deposition. The problem of ore genesis and predicting the depth of erosion level were discussed taking into account of evolution composition of the gold.

Key words: paragenetic association, purity of gold, ore deposit, the zonality of ore.

Факты наличия разнопробного золота в парагенетических минеральных ассоциациях (ПМА) золоторудных месторождений отмечены многими исследователями и обобщены в статьях и монографии Н.В.Петровской [6, 7]. В большинстве работ предполагается, что золото кристаллизуется в заключительные моменты формирования руд и накладывается на более ранние минералы. Наличие разнопробного золота чаще всего объяснялось многостадийностью полигенных и полихронных месторождений. Для руд различных геолого-промышленных типов обычно рассчитывалась средняя проба золота [11], считавшаяся типоморфной для каждого класса объектов или минеральных типов руд [9]. По наличию разнопробного золота в россыпях предполагались источники сноса с нескольких рудных объектов.

При подобном подходе не поняты были причины концентрирования позднего золота в ранних ПМА, часто слагающих более 90% объема рудных

тел, контакты которых обычно припаяны к околорудным породам. При многостадийном гидротермальном процессе золото могло бы отлагаться и в трещинах вмещающих пород, не залеченных рудами. Наконец, трудно представить формирование рудных тел с однотипным зональным строением из независимых потоков (стадий) гидротермальных растворов, якобы циркулирующих длительное время в одних и тех же рудовмещающих структурах.

Кардинальное решение поставленных вопросов предложено Н.В.Петровской [6], разработавшей учение о парагенетических минеральных ассоциациях как последовательных ступенях минерального равновесия со сменой одного парагенезиса другим при скачкообразном изменении термодинамических условий кристаллизации единого потока высококонцентрированного флюида. Каждая из ПМА могла сопровождаться сингенетичным золотом определенного состава.

Автором исследован состав самородного золота от ранних парагенезисов к поздним. Предполагается, что они возникли при кристаллизации высококонцентрированного флюида, одноактно внедрившегося в структурно-литологические ловушки с образованием рудных тел золоторудных месторождений. По представительным выборкам зерен золота, извлеченных из лабораторных технологических проб значительной (300–900 кг) массы в процессе гравитационного обогащения [3], установлены непрерывные и условно прерывистые ряды изменения состава золота для нескольких объектов золото-сульфидно-кварцевой формации Алтае-Саянской складчатой области. На рис. 1 отображены колебания состава самородного золота по зернам, ранжированным в порядке снижения пробы.

Золоторудные объекты Ортон-Балыксинского рудного района в Кузнецком Алатау представлены стратоидными залежами прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварцевых руд, локализованных в горизонтах березитизированных граувакковых песчаников с прослоями углеродистых сланцев в раннекембрийской вулканогенно-терригенно-карбонатной флишевой толще [4, 5]. Состав самородного золота изучался на Чашкатском и Пахомовском рудопоявлениях и месторождении Федоровское-1.

Диаграмма (см. рис. 1, а), построенная по данным анализов 15 зерен золота Чашкатского рудопоявления, показывает отсутствие в выборке самородного золота с пробой 920–800‰. Это отражается скачкообразным уступом на фоне постепенного снижения пробы от 940 до 750‰. В низкопробной области от 750 до 670‰ также наблюдаются довольно резкие изменения состава самородного золота от зерна к зерну.

По более представительной выборке из 34 зерен Пахомовского рудопоявления (см. рис. 1, б) видно, что на месте скачкообразного снижения пробы, отмеченного на Чашкатском рудопоявлении, обнаружены зерна золота с промежуточным составом. Пробность его в интервале от 960 до 800‰ резко меняется от зерна к зерну. В интервале от 800 до 750‰ пробность самородного золота плавно снижается, а затем в интервале от 740 до 660‰ снова заметно снижается от зерна к зерну. Таким образом, выделяются три генерации золота следующего состава: 960–800, 800–750 и 750–660‰. Они, вероятно, кристаллизуются на последовательных ступенях термодинамического равновесия по Н.В.Петровской [6] и фиксируют изменения соотношений золота и серебра в остаточном флюиде. Преобладает золото 2-й генерации, подчиненное развитие имеет золото 3-й генерации и относительно редко встречается золото 1-й.

По Ю.Г.Щербакову с соавторами [12], богатые золотом штуфы руд месторождения Федоровское-1 имеют среднюю пробу Au 812‰ при колебаниях от 782 до 823‰ по результатам 194 анализов. Эти данные о среднем составе самородного золота в отдельных образцах руд не противоречат авторским по определению состава золота, извлеченного из крупнообъемных технологических проб. По результатам переработки Новосибирским аффинажным заводом (ОАО «НАЗ») партии зерен лигатурного золота гранулометрического класса -10 +0,6 мм общей массой 2069,27 г, полученных при гравитационном обогащении 34,9 т руды, средняя проба, рассчитанная по соотношению выплавленного золота (1393,4 г) и серебра (311,7 г), составила 817‰.

Из 400 г мелкой (-0,6 мм) фракции гравитационных концентратов, состоящей из тонкого и мелкого золота, магнетита, пирротина, пирита и других рудных минералов, пробирной плавкой в ОАО «Артемовская золоторудная компания» получен однородный слиток массой 15,6 г. Проба золота этого слитка 900,8‰ определена на ОАО «НАЗ». Такое повышение средней пробы золота в мелкой фракции концентратов, вероятно, обусловлено наличием более высокопробных частиц мелкого и тонкого золота.

Так, в составе крупных зерен 821-й пробы исследователями ОИГТМ СО РАН [12] установлены линзовидные 1–10 мкм выделения золота высокой пробы (средняя проба 970‰ при колебаниях от 928 до 996‰ по данным 19 анализов). Высокопробное золото они отнесли к экзогенному. По нашему мнению, отсутствие в окисленных рудах каемок из высокопробного золота на менее высокопробном позволяет считать тонкие линзовидные включения золота высокой пробы вероятными зародышами. В стороны от них шел рост крупных выделений золота уже с более низкой (782–823‰) пробой на фоне изменения физико-химических параметров и относительной концентрации золота и серебра в рудообразующем флюиде.

Крупные выделения золота нередко имеют пробу <800‰ и слабо выраженное зональное строение. Химический состав крупного зерна самородного золота, заключенного в кварце месторождения Федоровское-1, по точкам от края через центр к другому краю по данным микрозондовых определений в ЦНИГРИ отражен в таблице. Центральная «затравка» зерна более высокопробная. Кристаллизация золота от центра к периферии зерна сопровождалась незначительным (на 5–21‰) увеличением концентрации Ag и Hg на фоне снижения относительных количеств Cu и Bi. Последние элементы, по-видимому, входили в состав рудных минералов,

Состав периферических и центральных участков крупного зерна самородного золота месторождения Федоровское-1, мас. %

Шашка 2	Au	Ag	Bi	Hg	Cu	Te	Fe	Pd	Сумма
1/1 край	77,27	21,25	0	0,7	0,04	0,07	0	0	99,33
2/1	79,25	20,6	0,22	0,23	0,07	0,06	0	0,03	100,46
3/1 центр	79,34	19,64	0,04	0,01	0,14	0,07	0	0	99,24
4/1	78,76	21,05	0,17	0,27	0	0,17	0,01	0	100,43
5/1	78,64	21,08	0,23	0	0,05	0,1	0	0	100,1
6/1	78,83	20,76	0	0	0	0,09	0	0	99,68
7/1 край	78,63	21,33	0,11	0,29	0,11	0,09	0,01	0,01	100,58

предшествующих и сопровождающих кристаллизацию золота. Повышение относительной концентрации Ag и Hg в остаточном флюиде, вероятно, отражалось в снижении пробы золота в краевых частях крупных выделений.

Результаты наших исследований показали, что в рудных телах месторождения Федоровское-1 в направлении от ранних к поздним ПМА средняя проба Au снижалась от 901 до 817‰ при колебаниях от 970‰ в зародышах кристаллов до 772‰ в краевых частях крупных зерен. В выборке из 94 зерен, отмытых из элювия В.В.Сыроватским [8], встречены три зерна пробой 715, 536 и 525‰, не включенные им в расчет средней пробы (812‰ при колебаниях от 788 до 828‰). Обнаруженные генерации низкопробного золота и электрума (525–536‰) вполне вероятны для поздних парагенезисов, завершивших процесс эндогенного рудообразования на месторождении Федоровское-1.

Золоторудные объекты Шаманского рудного узла в Западных Саянах представлены прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией в стратотидных и секущих зонах альбит-биотит-пирит-анкеритовых метасоматитов, развитых по брекчированным и рассланцованным вулканогенно-терригенным породам нижнекембрийской шаманской свиты. Свита сложена переслаиванием филлитизированных серых и зеленоцветных песчаников, углеродистых алевролитов, углисто-кремнистых сланцев, гравелитов, конгломератов, известковистых песчаников, алевролитов, эффузивов и туфов андезибазальтов. Стратифицированные породы смяты в крутые складки и вмещают дайки и силлы метагаббро, пироксенитов, амфиболитов. Все породы рассланцованы, эпидотизированы, слабо скарнированы, ороговиканы и прорваны небольшими гребневидными выступами массивов среднекембрийских диоритов майнского гранитоидного комплекса. Минерализованные зоны развиты вдоль сорванных контактов литологических разновидностей пород в бортах складок, вдоль кливажа осевой по-

верхности, диагональных и поперечных к складкам разрывных нарушений и контактов метагабброидных даек. Золото изучалось на Успенско-Троицком и Покосном рудопроявлениях.

Диаграмма (см. рис. 1, в), построенная по данным 70 анализов 62 зерен золота Успенско-Троицкого рудопроявления, показывает плавное изменение пробы самородного золота в диапазоне 950–930‰. Более резкое изменение

состава в диапазоне 930–880‰ заканчивается на диаграмме скачкообразным уступом, отражающим отсутствие в выборке самородного золота пробой <880 и >820‰. Следующая ступень плавного изменения состава самородного золота приходится на область 820–790‰. Она сменяется довольно резкими изменениями состава самородного золота в диапазоне от 790 до 650‰.

Диаграмма (см. рис. 1, г), построенная по данным анализов 35 зерен золота рудопроявления Покосное, показывает скачкообразные уступы изменения пробы самородного золота в диапазоне 930–750‰. Затем следует ступень довольно резкого, но непрерывного понижения пробы от 750 до 530‰. Эта ступень заканчивается скачкообразным уступом, отражающим отсутствие в выборке зерен самородного золота пробой от 530 до 470‰.

Диаграммы состава самородного золота рудопроявлений Успенско-Троицкое и Покосное как бы дополняют друг друга. Термодинамические ступени образования золотоносных ПМА фиксируются следующими диапазонами изменения пробы Au: 950–930, 930–880, 820–790, 790–530 и <470‰. Отсутствует золото пробой 880–820 и 530–470‰, что нарушает непрерывный природный ряд смесимости золота и серебра.

Преобладание золота пониженной пробы на рудопроявлении Покосное, расположенном в привершинной части Шаманского хребта на абсолютных отметках 1700–2060 м, вероятно, характеризует верхнюю часть зональной рудной колонны. Высокопробное золото Успенско-Троицкого рудопроявления, находящегося на 900–1200 м гипсометрически ниже, на стрелке рек Левый Кизас, Безымянка и Веселая в днищах отработанных полигонов крупной россыпи (добыто 19,3 т Au), вероятно, отвечает нижней части зональной рудной колонны.

Золото-серебряные объекты Алгаинско-Безрезовского рудного поля в Горной Шории представлены 64 фрагментами минерализованных зон северо-восточного простирания общей протяжен-

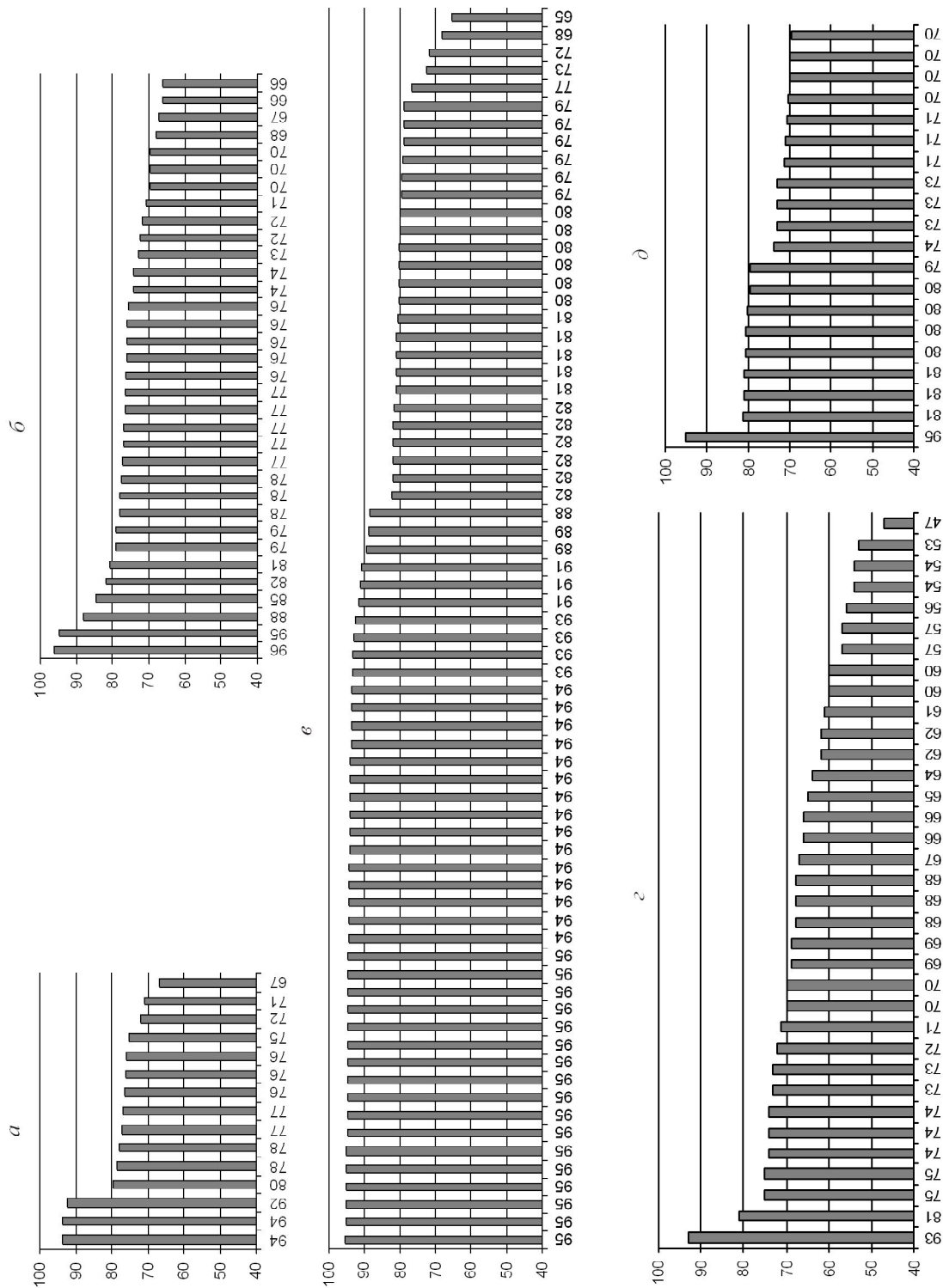


Рис. 1. Диаграммы изменения пробыности самородного золота по выборкам зерен с рудопроявлениям Чашкагское (а) и Пахомовское (б) и Пахомовское (в) и Пахомовское (г) и Пахомовское (д) и Пахомовское (е) и Пахомовское (ж) и Пахомовское (з) Шаманского золоторудного узла Западных Саян, Водораздельное (д) Алгаинско-Березовского золото-серебряного рудного поля Горной Шории

ностью 34,6 км. В их пределах лавы и туфы андезит-базальтов нижнедевонской учуленской свиты с субвулканическими телами порфиритов и фельзит-порфиритов брекчированы, рассланцованы, в различной степени пропилитизированы, березитизированы и окварцованы и несут прожилково-вкрапленную золото-серебряную минерализацию. Мощность зон колеблется от 10–20 до 100–150 м, а протяженность — от 50–100 до 700–1500 м.

На участке Водораздельный поисковыми работами ФГУГПП «Запсибгеолсъемка» в 2009 г. в четырех минерализованных зонах выявлены рудные тела, оконтуренные по бортовому содержанию Au 0,2 г/т (среднее >1,5 г/т). Общая протяженность рудных тел 2,1 км, средняя мощность 9,9 м, среднее содержание Au 1,6 г/т, Ag 18,4 г/т. До глубины 40 м оценены прогнозные ресурсы окисленных руд категории P₁: Au — 3,4 т и Ag — 39,7 т. Соответственно, линейная продуктивность 1 км минерализованных зон с установленными рудными телами составила по золоту — 1,61, по серебру — 18,50 т/км. По этой продуктивности с коэффициентом соответствия 0,8 для остальных 64 фрагментов минерализованных зон (34,6 км) оценены прогнозные ресурсы окисленных руд категории P₂: Au — 44,5 т и Ag — 510 т. Геолого-экономическая оценка по укрупненным показателям, проведенная ФГУГПП «Запсибгеолсъемка» и ЦНИГРИ, говорит о инвестиционной привлекательности освоения объекта. По итогам работ рекомендовано проведение лицензирования Алгаинско-Березовского рудного поля.

Изучение вещественного состава и технологических свойств руд выполнено в ЦНИГРИ под руководством автора. По изученному нами рудному пересечению на участке Водораздельный околорудному метасоматозу подверглись туфы среднего-основного состава, пропилитизированные в альбит-хлорит-карбонатной фации.

Прожилково-вкрапленная минерализация сосредоточена в зоне низкотемпературных кислотных метасоматитов (аргиллизитов), сложенных слюдистоглинистыми минералами, халцедоном, кварцем и пиритом. Прожилки состоят из молочно-белого ноздреватого, сильно катаклазированного кварца. Наличие включений адуляра свидетельствует о принадлежности жильного кварца к образованиям малых глубин. В кварце обнаружены вкрапленники пирита, арсенипирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита, блеклой руды, антимонита, акантита, сульфослей серебра ряда пирсеит-полибазит и самородного золота. Выделения самородного золота имеют микронные размеры (не более 2–5 мкм). Аксессуары в рудах представлены ильменитом, рутилом, сфеном, цирконом и апатитом. Из цветных металлов в

руде присутствуют (%) Pb 0,32 и Zn 0,26, из вредных компонентов — As 1,18 и Sb 0,027.

Рудные минералы в условиях гипергенеза преобразованы в оксиды железа в смеси с глинисто-слюдистыми минералами, иногда окрашенными медными и мышьяковыми охрами.

Самородное золото в виде редких изометричных зерен размером 0,03–0,1 мм с отчетливыми кристаллографическими очертаниями выделено из гравииконцентрата технологической пробы. По 20 микрозондовым анализам средняя проба Au 790‰.

Диаграмма (см. рис. 1, д), построенная по данным анализов 20 зерен золота рудопроявления Водораздельное, отражает скачкообразные уступы, фиксирующие отсутствие самородного золота в диапозонах пробы 950–810 и 790–740‰. Между уступами наблюдаются ступени плавного изменения пробы золота в диапазонах 810–790 и 740–700‰.

По оптическим свойствам и данным рентгеноспектрального микроанализа различаются четыре разновидности самородного золота. Преобладает золото средней (около 800‰) и низкой (700–740‰) проб. В единичных случаях фиксируется высокопробное (950‰) золото. Кроме того, имеется значительное количество зерен низкопробного ртутистого золота (~25% Hg), возможно, связанного с поздней слабо проявленной антимонит-киноварной ПМА. В руде участка Водораздельный нами обнаружен антимонит. На расположенном поблизости золото-серебряном месторождении-аналоге Калар в рудах отмечена киноварь.

Заметим, что в золото-сульфидных залежах, локализованных в триасовых черных сланцах месторождения Кючюс Верхоянского района Якутии, нами также было обнаружено ртутистое золото, ассоциирующее с поздним киноварь-антимонитовым парагенезисом и медистым золотом [1]. Минералы ранних ПМА этого месторождения сопровождалась выделениями золота высокой и средней проб без примеси или с незначительной примесью ртути. Ртутистое золото зафиксировано также в рудопроявлениях и месторождениях Оргон-Балыксинского рудного района, Шаманского и Ольховско-Чибижекского рудных узлов. Вероятно, ртуть присутствует в составе рудообразующих флюидов и концентрируется в золоте на завершающем этапе их раскристаллизации.

При дальнейших исследованиях, по мере накопления фактов, вероятно, можно составить единый ряд смесимости золота, серебра, ртути и меди для всего разнообразия золоторудных объектов, генерированных дифференцированной колонной высококонцентрированных однотипных рудообразующих флюидов. Научная основа для продолжения таких

исследований заложена в фундаментальном труде П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой [2], освещающем вопросы генезиса метаморфических и магматических пород, рудных месторождений, соле- и нефтеобразования с учетом геолого-структурных различий проявления универсального флюидного режима, инициированного дегазацией Земли.

Для решения частных вопросов рудообразования нами проведено детальное минералогическое картирование глубоко вскрытых месторождений Ольховско-Чибижекского рудного узла и получены универсальные схемы зональности в размещении ПМА, обусловленные дифференциацией потока высоконцентрированного флюида. Ниже проиллюстрированы изменения типоморфных особенностей золота и состава ПМА, использованные для оценки уровня эрозионного среза рудных тел и прогнозирования новых золоторудных объектов.

Золоторудные месторождения золото-сульфидно-кварцевых руд Ольховско-Чибижекского рудного узла в Восточных Саянах приурочены к эндо- и экзоконтактовой области шириной 0,6–1,0 км Шиндинского гранитоидного плутона ольховского габбро-диорит-плагигранитного комплекса позднекембрийско-ордовикского возраста. Массив имеет эллипсоидную форму с заливами и выступами и вытянут на 100 км в широтном направлении согласно простиранию складчатых структур нижнекембрийской балахтисонской свиты. Свита представлена нижней карбонатной и верхней терригенно-вулканогенной подсвитами.

Месторождения, из которых за 90 лет отработано добыто около 130 т Au, представлены богатыми золотом сульфидно-кварцевыми жилами в окварцованных и серицитизированных кварцевых диоритах, а также сульфидными и гематитовыми залежами в торцах этих жил на продолжениях рудовмещающих нарушений в мраморизированных доломитах и известняках. Минералогическое картирование четырех месторождений по ряду горизонтов подземных горных выработок показало, что рудные тела с различными геологическими условиями локализации и глубиной вскрытия резко различаются друг от друга по составу руд.

По преобладающим рудообразующим минералам в составе рудных тел на разных гипсометрических уровнях месторождений выделены халькопирит-пирит-кварцевый, халькопирит-пирит-пирротинный, пирротин-марказит-анкеритовый, халькозин-гематит-кальцитовый минеральные типы руд и промежуточные разновидности.

Халькопирит-пирит-кварцевый минеральный тип руд широко проявлен на Константиновском и Лысогорском месторождениях и на верхних гори-

зонтах Ольховского. По характеру равновесных сростаний и коррозионным границам минералов, наличию прожилковой, пятнистой и брекчиевых текстур, образовавшихся при усадке, растрескивании, дроблении, растворении и метасоматическом замещении, выявлена последовательность кристаллизации минеральных агрегатов, или ПМА, в понижении Н.В.Петровской [6].

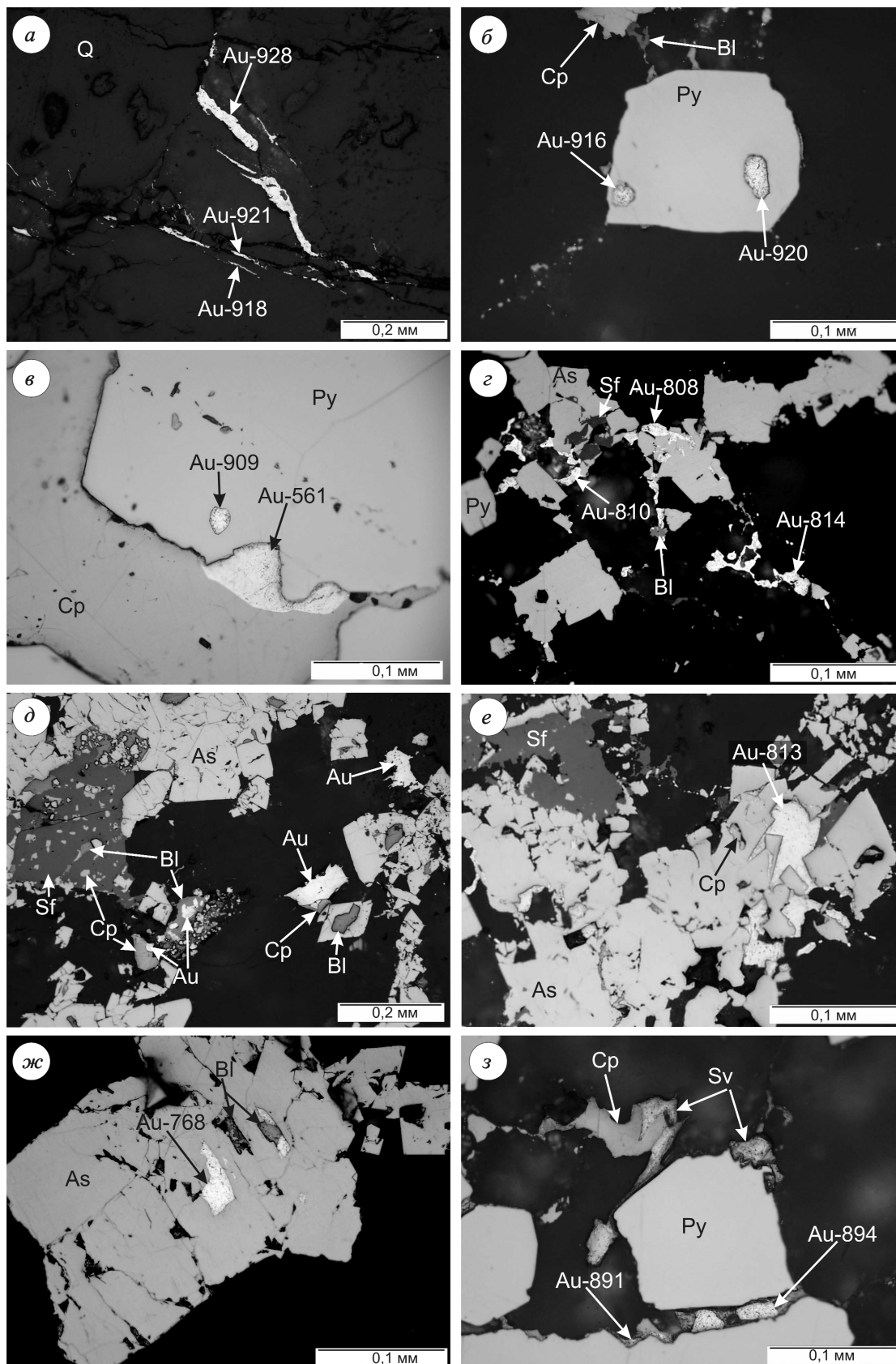
В данном минеральном типе руд выделены пирит-кварцевая, кубанит-халькопиритовая, галенит-блеклорудная, борнит-халькозиновая, хлорит-гематитовая и марказит-карбонатная ПМА.

Пирит-кварцевая ПМА занимает 80–95% объема рудных тел. В золото-сульфидно-кварцевых жилах, залегающих в гранитоидах, в ее составе преобладает кварц (75–90%) над пиритом. При переходе жил из гранитоидов в карбонатные породы количественные соотношения кварца и пирита обратные [10]. Пирит-кварцевая ПМА, кроме главных минералов, содержит серицитизированные и окварцованные включения кварцевых диоритов. Диориты в зальбандах жил также серицитизированы, окварцованы и содержат в небольшом количестве все минералы, присущие жильным рудам. Мощности оторочек измененных пород вокруг жил сопоставимы с мощностями жил. Во вмещающие породы рудным процессом привнесены K, Si, H₂O, Fe, S.

Потеря флюидом воды и щелочей при образовании измененных пород приводила сначала к кристаллизации молочно-белого жильного кварца в открытых полостях, затем — более серого кварца с редкими и мелкими вкраплениями ксеноморфного пирита и, наконец, — кварца с гнездами и полосами густой вкрапленности среднезернистого гипидиоморфного пирита и реже метазернистого арсенипирита. На кристаллы арсенипирита наложены, в свою очередь, кристаллы друзовидного кварца, венчающего образование пирит-кварцевой ПМА с арсенипиритом, сопутствующими минералами и собственным золотом.

Внутри волосовидных трещин в кварце обнаружено высокопробное (928, 921, 918‰) золото (рис. 2, а). Золото с чуть более низкой пробой (920, 916, 909‰) выявлено в виде округлых включений в пирите (см. рис. 2, б, в). С арсенипиритом ассоциирует золото средней (814, 813, 810, 808‰) пробы (см. рис. 2, г, д, е). Однако оно иногда сопровождается вростками в арсенипирите блеклой руды, сфалерита и халькопирита, слагающими более поздние парагенезисы с собственным золотом низкой (768‰) пробы (см. рис. 2, ж).

Кубанит-халькопиритовая ПМА сложена преимущественно халькопиритом с небольшим количеством пирротина, кубанита, сфалерита, силльванита,



блеклой руды и золота. По литературным источникам температура возникновения структуры распада с образованием пластинок кубанита в халькопирите оценивается в 450°C. Тончайшая эмульсия халькопирита в мелких (0,06–0,2 мм) выделениях сфалерита в халькопирите возникает при температуре 250°C. Такие температурные диапазоны кристаллизации этой ПМА, вероятно, отразились на типоморфных особенностях золота, кристаллизовавшегося в халькопирите. Пробность его зерен в сростках с халькопиритом, сильванитом (см. рис. 2, з) и теллурависмутитом составила 894, 891%. Она превышает пробность золота, кристаллизующегося совместно с арсенопиритом. Это показывает, что часть халькопирита в сростках с теллуридами золота, серебра и висмута кристаллизовалась параллельно с пирит-кварцевой ПМА в межзерновых пространствах раннего кварца и пирита и предшествовала образованию метазерен арсенопирита и друзовидного кварца центральных частей жил. Большая часть халькопирита образует гнезда в кварце (рис. 3, а, в), корродирует пирит (см. рис. 3, б, г), проникает в трещины усадки ранних минералов, цементирует их обломки (см. рис. 3, д, е) и развивается по ним в виде псевдоморфоз. При этом, вероятно, железо раннего пирита усваивается халькопиритом и ассоциирующим с ним пирротинном в изменяющихся физико-химических условиях. В сростках с поздним халькопиритом находится самородное золото 735, 721, 671 и 561 проб (см. рис. 2, в, з, а–г).

Сфалерит-галенитовый минеральный агрегат сложен сфалеритом с эмульсионной вкрапленностью халькопирита, галенитом, блеклыми рудами, гесситом и низкопробным золотом 703, 716‰ (см. рис. 3, ж, з). Проявлен минеральный агрегат в незначительных количествах в рудах, обогащенных арсенопиритом. Границы срастания минералов этого агрегата с халькопиритом неоднозначные: то халькопирит замещает минералы агрегата, то наоборот. Вследствие этого спородически проявленный полиметаллический минеральный агрегат можно рассматривать в качестве составной части кубанит-халькопиритовой ПМА. В этом случае золото из сфалерит-

галенит-блеклорудных гнезд в рудах займет свой интервал в ряду разнопробного (894–561‰) золота, сопровождающего кристаллизацию халькопирита от ранних генераций к поздним.

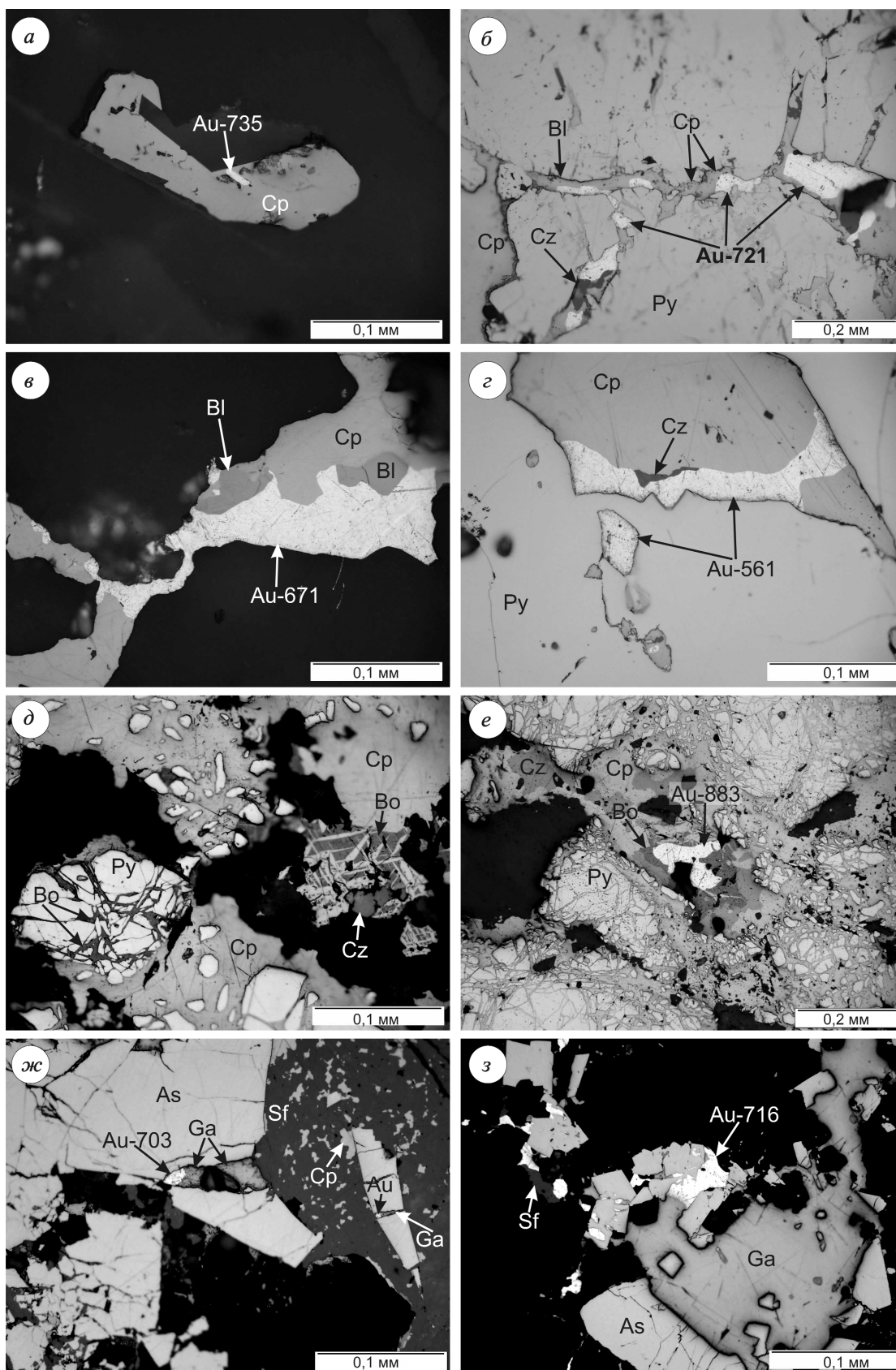
Халькозин-борнитовая ПМА сложена халькозином и борнитом, метасоматически замещившими халькопирит и пирит (см. рис. 3, д, е) преимущественно на участках перехода жил из гранитоидов в карбонатные породы [10]. В борните отмечаются тонкие веретенца халькопирита. Такая структура распада твердого раствора подчеркивает кубический габитус кристаллов борнита и, по литературным данным, возникает при температуре 275°C. Золото в сростках с борнитом и халькозином (рис. 4, а–в; см. рис. 3, е) имеет пробу 928, 883, 835, 800‰, характерную для замещенных минералов (кварца, пирита, халькопирита). Иногда в золоте высокой и средней проб наблюдаются вростки и пятна более светлого низкопробного (см. рис. 4, г, д) золота, состав которого нами пока не изучен.

Хлорит-гематитовая ПМА сложена делесситом с сыпью мелких пластинок гематита. Этот минеральный агрегат метасоматически замещает все предыдущие (см. рис. 4, е, ж) и вслед за халькозин-борнитовым парагенезисом выделяется в существенных количествах на участках перехода золоторудных жил из гранитоидов в карбонатные породы [10]. Как и борнит-халькозиновый, хлорит-гематитовый парагенезис несет высокопробное (923, 922, 913‰) золото, заимствованное из метасоматически замещенного пирита.

Марказит-карбонатная ПМА представлена крупнокристаллическим анкеритом или кальцитом, заполняющими поры и трещинки усадки в сульфидно-кварцевых рудах. В линзах и прожилках друзовидного анкерита встречается сыпь кристалликов марказита, а в зальбандах прожилков иногда наблюдаются псевдоморфозы мелкозернистого магнетита по пластинкам гематита. В зонах перехода жил из гранитоидов в карбонатные породы, вокруг сульфидных и гематитовых залежей белый крупнозернистый кальцит образует оторочку в несколько сантиметров, отделяющую сульфидные залежи от мраморизованных доломитов.

Рис. 2. Золото в минералах ранних ПМА золото-сульфидно-кварцевых месторождений Ольховско-Чиббикского рудного узла:

а — высокопробное золото в трещинах жильного кварца с реликтами серицитизированного кварцевого диорита, обр. 442-к; б — каплевидные выделения высокопробного золота в пирите (Pу), в трещинах и порах кварца выделения халькопирита (Ср) и блеклой руды (Вl), обр. 107-к; в — каплевидное выделение высокопробного золота в пирите и сросток низкопробного золота с халькопиритом на контакте с пиритом, обр. 230-к; г — среднепробное золото в сростках со сфалеритом (Sf) и блеклой рудой в трещинах арсенопирита (As) и кварца с пиритом, обр. 151-к; д — золото в сростках с халькопиритом и блеклой рудой в арсенопирите, сфалерите и кварце, обр. 110-к; е — среднепробное золото в сростках со сфалеритом и халькопиритом в трещинах арсенопирита и кварца, обр. 151-к; ж — вростки среднепробного золота и блеклой руды с золотом в арсенопирите, обр. 8-л; з — высокопробное золото в сростках с сильванитом (Sv) и халькопиритом в кварце вокруг выделений пирита, обр. 107-к



В жильном кальците изредка фиксируются вкрапления киновари и барита. В нем также встречаются выделения самородной меди и медистого золота (745‰) в сростке с высокопробным (972‰) золотом (см. рис. 4, з). В дендрите меди рентгеноспектральным микроанализом обнаружена небольшая примесь сурьмы. Такая своеобразная минерализация, по-видимому, связана с обогащением остаточного углекислотного флюида элементами, выщелоченными из ранних пирит-кварцевой и кубанит-халькопиритовой ПМА при их метасоматическом замещении халькозин-борнитовой и хлорит-гематитовой ПМА. Марказит-карбонатная ПМА завершает процесс образования халькопирит-пирит-кварцевого минерального типа руд.

Халькопирит-пирит-пирротиновый минеральный тип руд развит на Ольховском и Медвежем месторождениях и проявлен на нижних горизонтах тектонического блока на Центральном участке Константинского месторождения. Руды сложены кварцем (5–40%), пиритом (5–10%), пирротином (5–40%), халькопиритом (5–10%), хлоритом, марказитом, анкеритом, а также золотом, блеклыми рудами, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, висмутом, висмутином, тетрадимитом, гесситом и другими редкими минералами. По текстурным взаимоотношениям в этом типе руд установлены те же ПМА, что и в халькопирит-пирит-кварцевом. Отличаются минеральные типы руд по количественным соотношениям основных минералов в ПМА и относительной доле каждой ПМА в объеме жил. Так, в данном типе руд в пирит-кварцевой ПМА резко уменьшается количество кварца по отношению к пириту. Также уменьшается относительная доля ПМА в составе жил до 40–10%. При этом резко возрастает доля кубанит-халькопирит-пирротинового парагенезиса, занимающего большую часть объема рудных жил. Причем в его составе резко возрастает доля пирротина по отношению к халькопириту.

Агрегаты пластинчатых кристаллов немагнитной разновидности гексагонального пирротина с дисковидными вростками более светлой магнитной разновидности моноклинного пирротина обрастаются каймами изометричных зерен обеих разновидностей

пирротина в тесных сростках с аналогичными по форме и размерам зернами халькопирита. Тонкие (до 0,01 мм) выделения золота располагаются между пластинками гексагонального и моноклинного пирротина, а более крупные со средней пробой (732‰) — в сростках пирротина с халькопиритом.

Сфалерит встречается в халькопирите в виде мелких выделений звездчатой формы, которые, в свою очередь, пронизаны тончайшей эмульсией халькопирита. Такая структура распада твердого раствора позволяет оценить температуру образования халькопирит-пирротиновой ПМА в 550°C. В сростках с халькопиритом наблюдается тетраэдрит, висмут, висмутин, тетрадимит, гессит. Пирротин-халькопиритовая ПМА образует сетчатую текстуру пересечения в пирит-кварцевой.

Хлорит-марказитовая ПМА сложена тонкозернистым марказитом и хлоритом, образующими бурнудочно-полосчатую текстуру. Хлорит представлен тонкочешуйчатым делесситом с тончайшей сыпью гематита. Прожилки хлорит-марказитовой ПМА мощностью от волосовидных до 10 см пересекают халькопирит-пирротиновую. Эта ПМА слабозолотоносная.

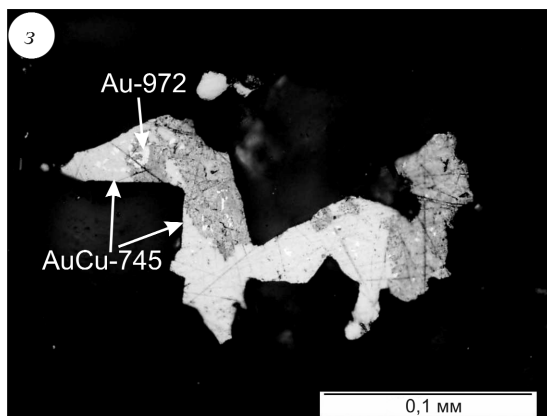
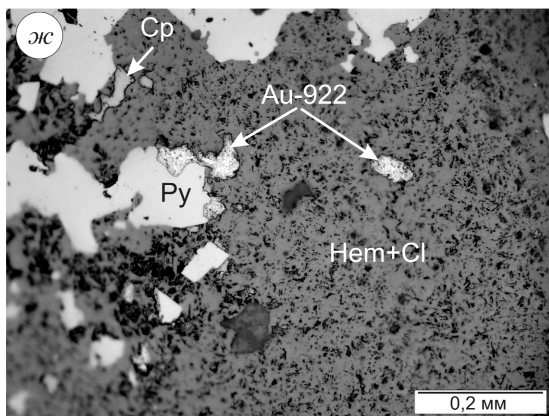
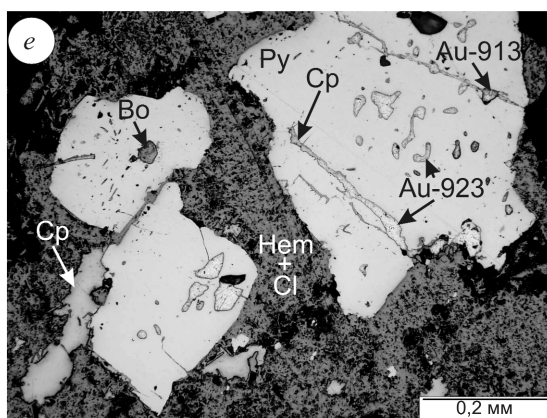
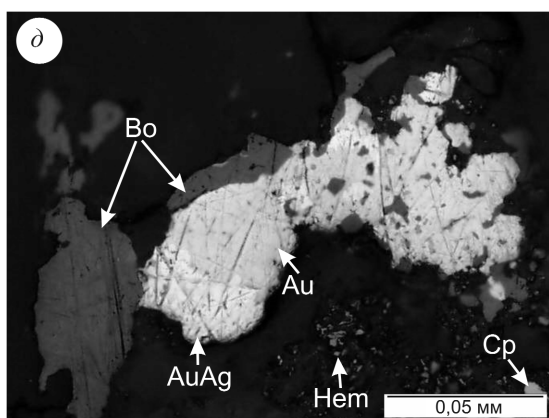
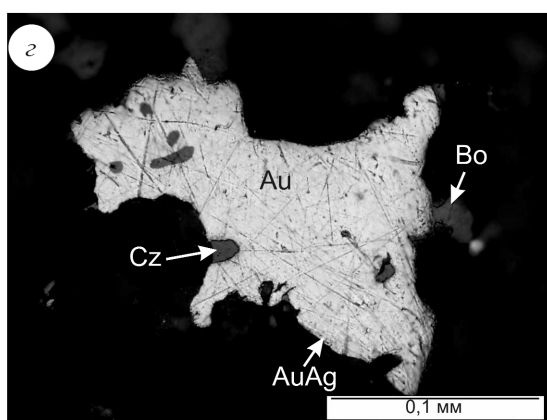
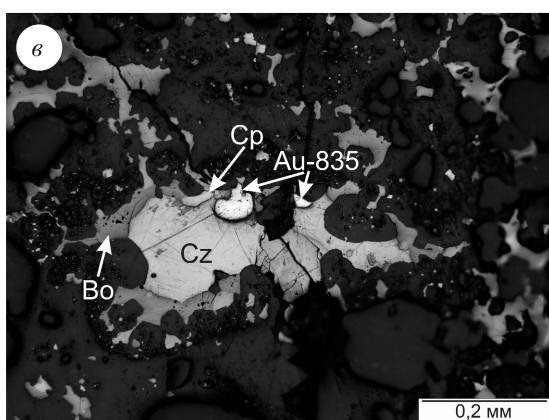
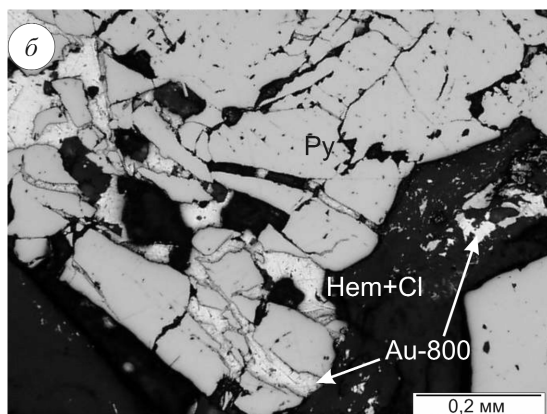
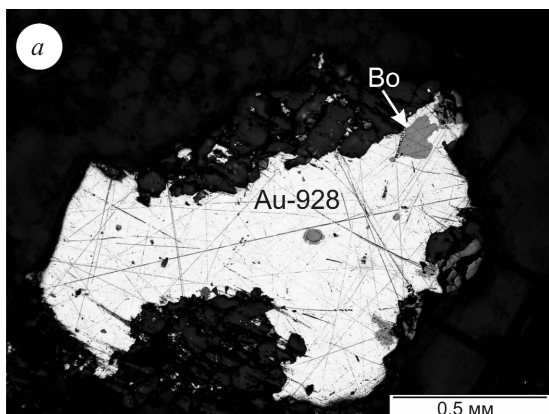
Пирит-сидеритовая ПМА сложена преимущественно сидеритом, прожилки которого в ранних ПМА имеют гребенчатую структуру. По поверхности зерен сидерита рассеяны мелкие идиоморфные кристаллики пирита. Эта ПМА слабозолотоносная.

Последовательность кристаллизации и соотношения главных минералов ПМА различных типов руд приведены на рис. 5.

Пирротин-марказит-анкеритовый минеральный тип руд представляет собой крайнюю разновидность халькопирит-пирит-пирротинового минерального типа. В нем незначительно проявлена пирит-кварцевая ПМА. Резко снижена доля пирротин-халькопиритовой ПМА, которая к тому же почти не несет высокозолотоносного халькопирита, блеклых руд, минералов висмута и теллуридов золота. В количественном отношении в составе жил преобладают убого золотоносные марказит-хлоритовая и пирит-сидеритовая ПМА. Пирротин-марка-

Рис. 3. Золото в минералах кубанит-халькопиритовой и сфалерит-галенитовой ПМА золото-сульфидно-кварцевых месторождений Ольховско-Чибизекского рудного узла:

a — золото средней пробы в халькопирите (Ср), образующем гнездо в жильном кварце, обр. 52-м; *б* — сростки среднепробного золота с халькопиритом, блеклой рудой (В1) и халькозином (Сz), образующими прожилки в трещиноватом пирите (Пу), обр. 33-л; *в* — сросток среднепробного золота с халькопиритом и блеклой рудой в кварце, обр. 418-к; *г* — низкопробное золото в гнездах халькопирита с халькозином среди пирита, обр. 230-к; *д* — прожилковое и сетчатое замещение пирита халькопиритом, метасоматическое замещение халькопирита борнитом (Во) и халькозином, обр. 589-к; *е* — сросток высокопробного золота с борнитом и халькозином в халькопирите, цементирующем трещиноватый пирит, обр. 589-к; *ж* — сростки среднепробного золота с галенитом (Ga) и сфалеритом (Sf) с эмульсией халькопирита в арсенопирите и кварце, обр. 110-к; *з* — сросток среднепробного золота с галенитом в арсенопирите и кварце, обр. 166-к



зит-анкеритовый минеральный тип руд фиксирует области выклинивания рудной минерализации на глубину на нижних горизонтах Ольховского и Медвежьего месторождений.

Халькозин-гематит-кальцитовый минеральный тип руд развит вдоль разрывных нарушений в карбонатных породах на верхних горизонтах Константиновского золоторудного месторождения в 100–300 м от контакта с кварцевыми диоритами. Ниже этого уровня, вплоть до контакта с гранитоидами, жилло- и трубообразные рудные тела представлены бескварцевой сульфидной разновидностью халькопирит-пирит-кварцевого минерального типа руд (см. рис. 5).

Зональность отложения рудного вещества в карбонатных породах возникла в процессе метасоматического замещения доломита ранними сульфидными парагенезисами в непосредственной близости от диоритов. Дифференциаты более инертного остаточного флюида отгонялись по трещинам выше. Из них кристаллизовались борнит-халькозиновая, гематит-хлоритовая и карбонатная ПМА в оторочке вишневого доломитов с кальцитовыми прожилками. Вишневые доломиты рассматриваются как надежный поисковый критерий, указывающий на наличие слабо эродированных рудных тел на глубине.

Зональность отложения рудного вещества в интрузивных породах представлена последовательной сменой минеральных типов руд в направлении от верхних горизонтов горных работ к нижним. На Медвежьем месторождении между гипсометрическими отметками 550 и 130 м и Ольховском месторождении между отметками 600 и 230 м минерализация прослежена до естественного выклинивания рудных тел на глубину (см. рис. 5). При этом халькопирит-пирит-пирротин-кварцевые руды с глубиной сменились халькопирит-пирротин-марказитовыми малокварцевыми и ниже пирротин-марказит-анкеритовыми. В последних богатые золотом пирит-кварцевая и халькопирит-пирротитовая ПМА слабо развиты, тогда как убого золотосодержащие хлорит-марказитовая и пирит-сидеритовая в количественном отношении преобладают. Одновременно жилы становятся невыдержанными и расщепляются

на многочисленные тонкие прожилки в серицитизированных, анкеритизированных и альбитизированных породах.

Руды халькопирит-пирит-кварцевого состава прослежены горными выработками на месторождениях Константиновское между отметками от 600 до -100 м, Лысогорское — от 680 до 460 м без признаков выклинивания на глубину. Лишь на нижних горизонтах месторождений в составе кубанит-халькопиритовой ПМА появился пирротин. Такие халькопирит-пирит-пирротин-кварцевые руды аналогичны рудам верхних горизонтов месторождения Медвежье. Это позволило прогнозировать продолжение рудных тел рассмотренных месторождений на глубину 400 м от нижних горизонтов горных работ.

Вертикальный размах промышленного оруденения превышает 1000 м. Постепенные переходы между минеральными типами руд, вероятно, обусловлены дифференциацией одноактно внедренного в рудоносные структуры силикатного флюида, состоящего предположительно из жидкого стекла с высокими концентрациями рудных компонентов. Потеря таким флюидом щелочей и воды при анкеритизации, альбитизации, серицитизации и окварцевании боковых пород привела к кристаллизации золото-сульфидно-кварцевых жил. Закономерное изменение состава золота от ранних к поздним ПМА не допускает самостоятельного поступления металла в руды путем неоднократного внедрения все новых и новых рудоносных флюидов.

Оценка уровня эрозионного среза рудопроявлений выполнена путем сопоставления состава их рудной минерализации с типами руд по срезам установленной модели зональной рудной колонны (см. рис. 5).

Следует отметить, что Ольховско-Чибижеский рудный узел разбит на тектонические блоки системой широтных, субмеридиональных и диагональных к ним дорудных нарушений (рис. 6). По минеральному составу руды даже смежных блоков или участков месторождений нередко заметно отличаются друг от друга. Вероятно, рудообразующие флюиды в блоках разной тектонической проработки поднимались на различные уровни. Поэтому

Рис. 4. Золото в минералах борнит-халькозиновой, хлорит-гематитовой и марказит-карбонатной ПМА золото-сульфидно-кварцевых месторождений Ольховско-Чибижеского рудного узла:

a — высокопробное золото с борнитом (Bo) в кварце, обр. 313-к; *б* — сетчатые прожилки среднепробного золота в пирите (Py), корродированном гематит-хлоритовой (Hem+Cl) ПМА, обр. 530-к; *в* — сросток среднепробного золота с халькозином (Cz) и борнитом (Bo), метасоматически замещающими халькопирит (Cp) в кварце, обр. 167-к; *г* — высокопробное золото в кварце в сростке с борнитом, халькозином и низкопробным золотом (AuAg), обр. 167-к; *д* — сросток высокопробного золота с низкопробным и борнитом в кварце с гнездами халькопирита и гематита (Hem), обр. 167-к; *е* — высокопробное золото в сростках с халькопиритом в пирите, сульфиды координированы хлорит-гематитовым агрегатом (Hem+Cl), обр. 153-к; *ж* — высокопробное золото в хлорит-гематитовом агрегате, корродирующем пирит, обр. 153-к; *з* — медистое золото (AuCu) в сростках с высокопробным в кальцитовом прожилке, обр. 294-к

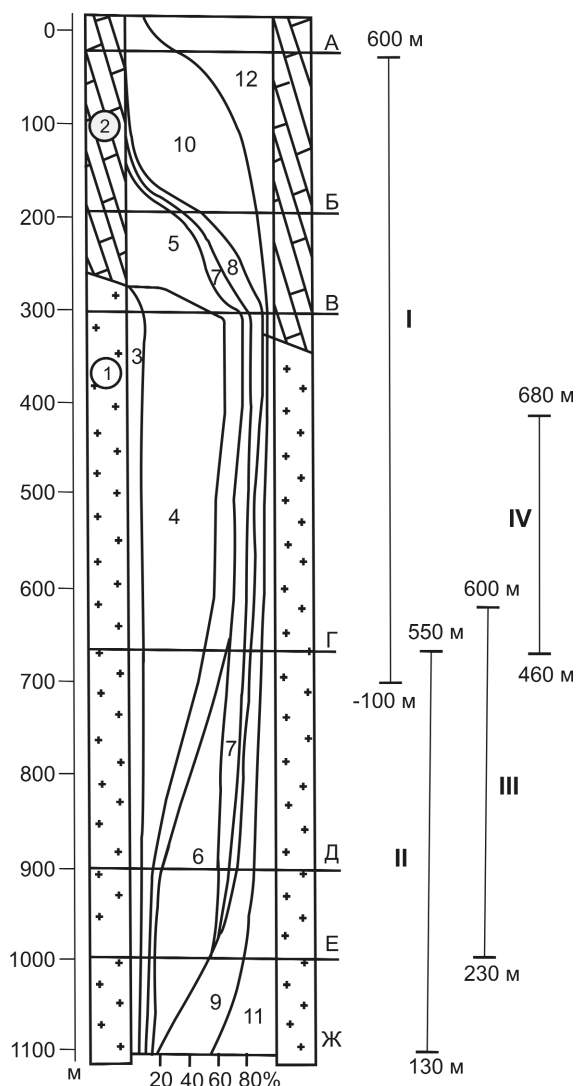


Рис. 5. Сводная схема минеральной зональности месторождений Ольховско-Чибижского золоторудного узла:

рудовмещающие породы: 1 — гранитоиды, 2 — доломиты; ПМА, их главные минералы (в скобках — проба парагенного золота): 3–5 — пирит-кварцевая: 3 — серицит, 4 — кварц с золотом (928, 921, 916), 5 — пирит с золотом (928, 923, 922, 920, 918, 913, 909), 6–7 — кубанит-халькопиритовая и пирротин-халькопиритовая: 6 — пирротин, 7 — халькопирит с золотом (894, 891, 883, 881, 875, 835, 800, 735, 721, 671, 561) и редкими выделениями пирротина, кубанита, миллерита, сильванита с золотом (894, 891), висмутина, арсенопирита с золотом (814, 813, 810, 808, 768), марматита, клеофана, блеклых руд, галенита с золотом (716, 703), 8 — халькозин-борнитовая с золотом (928, 883, 835, 800), 9 — хлорит-марказитовая, 10 — хлорит-гематитовая с золотом (923, 922, 913), 11 — пирит-анкеритовая, 12 — марказит-карбонатная с киноварью, баритом, самородной медью и золотом (972, в сростках с медистым золотом — 745); минеральные типы руд: А–Б — халькозин-гематитовый, Б–В — пирит-халькопирит-борнитовый, В–Г — халькопирит-пирит-кварцевый, Г–Д — халькопирит-пирит-пирротин-кварцевый, Д–Е — халькопирит-пирротин-марказитовый, Е–Ж — пирротин-марказит-анкеритовый; гипсометрические отметки диапазонов развития совокупностей минеральных типов руд, вскрытых в тектонических блоках на Константиновском (I), Медвеьем (II), Ольховском (III) и Лысогорском (IV) месторождениях

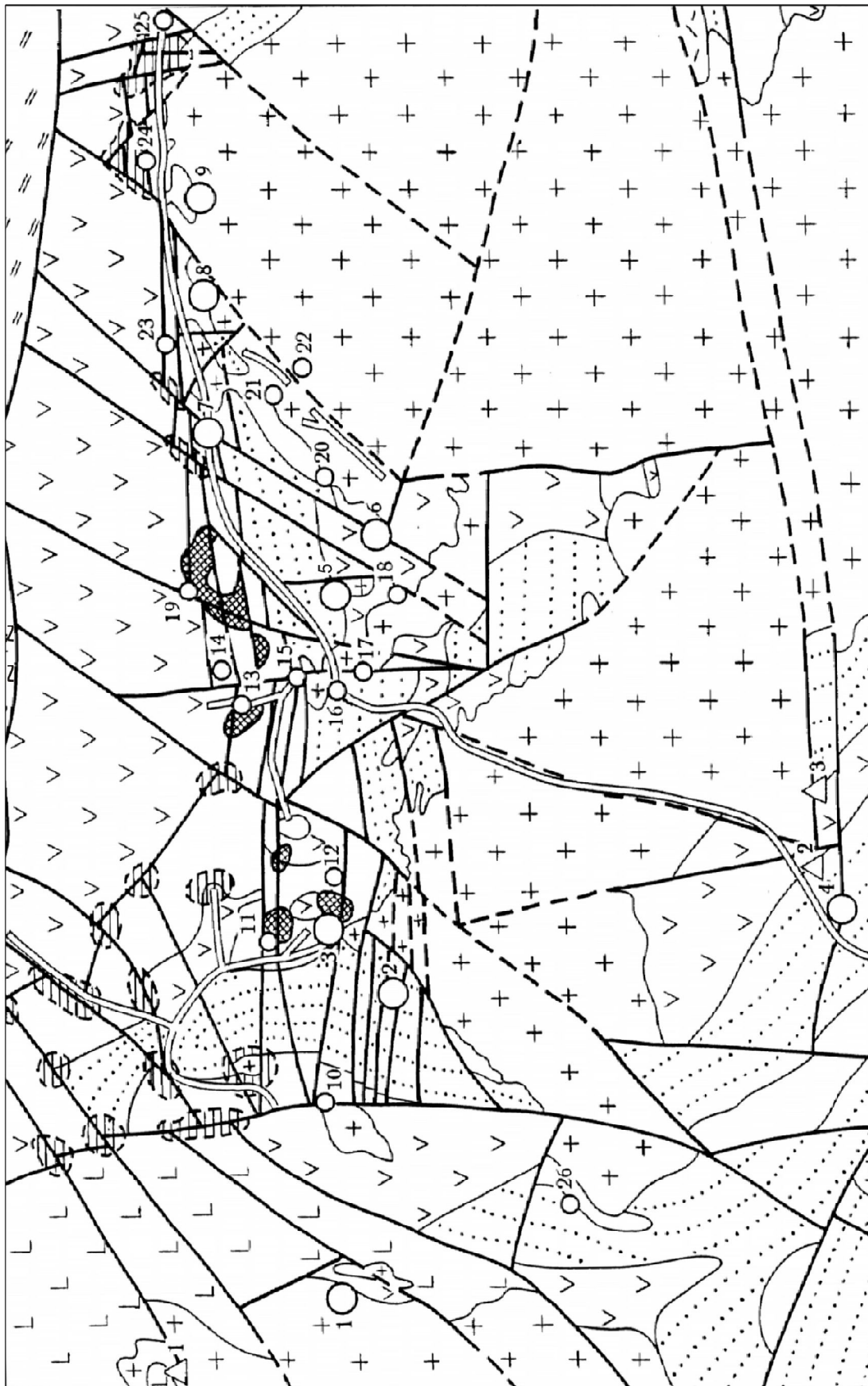
в одних блоках рудопроявления слабо эродированы, в других обнажаются прикорневые части рудных тел. Ниже приведены оценки возможной глубины распространения рудных тел для ряда месторождений и рудопроявлений рудного узла.

На месторождении Средняя Тарча (см. рис. 6) в интрузивных породах развиты жилы халькопирит-пирротин-пиритового состава. Они могут иметь промышленное значение до глубины 250–300 м.

Каратавское рудопроявление представлено двумя телами брекчированных гематитизированных известняков мощностью 30–35 м и длиной 350–500 м. В штуфах из свалов жильного кварца присутствуют халькопирит и пирит. Зафиксированы промышленные содержания золота. Состав руд предполагает небольшую величину эрозионного среза. Рекомендуется выполнить поиски жил, поперечных контакту интрузивных пород и выявленным телам брекчий.

Рис. 6. Схематическая структурно-формационная карта Ольховско-Чибижского рудного узла:

геологические формации: 1 — вулканогенно(трахириодацит-трахиандезитовая)-туфогенная быскарской серии D_1 , 2 — вулканогенно(андезит-базальтовая)-терригенно-туфогенная осиновской свиты E_2 , 3 — вулканогенно(андезит-базальтовая)-туфогенная флишевая углеродистая верхнебалахтисонской подсвиты E_1 , 4 — карбонатная рифогенная нижнебалахтисонской подсвиты E_1 , 5 — флишевая карбонатно-терригенная колпинской свиты E_1 , 6 — туфогенно-вулканогенная(андезит-базальтовая) тарбатской свиты E_1 , 7 — терригенно-вулканогенная зеленосланцевая кувайской серии R_3-V , 8 — гранит-граносиенитовая буюдзюльского комплекса D_1 , 9 — кварц-диорит-гранодиорит-адамеллитовая гранитоидных батолитов ольховского комплекса E_3-O ; 10 — дизъюнктивы добатолитового (а) заложения и подновленные (б) в последобатолитовый этап; 11 — золоторудные объекты: а — месторождения (1 — Лысогорское, 2 — Медвежье, 3 — Ольховское, 4 — Красная речка, 5 — Высота 830, 6 — Ивановское, 7 — Константиновское, 8 — Средняя Тарча, 9 — Дистлеровское); б — рудопроявления (10 — Кулемное, 11 — Георгиевское, 12 — Аномалии-2, 13 — Кора, 14 — Безводное, 15 — Китатское, 16 — Усть-Китатское, 17 — Высота 712, 18 — Ключа Золотого, 19 — Снегиревское, 20 — Стенфорда, 21 — Сопки Высоцкого, 22 — Веселое, 23 — Грязненское, 24 — Екатерининское, 25 — Верхнечибижское, 26 — Джебское; 12 — россыпи золота, преимущественно отработанные; 13 — золотонесные коры выветривания (а — выявленные, б — предполагаемые); 14 — скарновые железорудные месторождения (1 — Маргоз, 2 — Чибижское, 3 — Нижнечинжебинское)



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14

Верхнечибижевское рудопроявление представлено сульфидными и гематитовыми телами в области контакта гранитов с известняками, не увязанными между собой. Рекомендуется выполнить поиски поперечных контакту сульфидно-кварцевых жил вкрест ранее пройденным разведочным линиям. Уровень эрозионного среза незначительный, судя по гематитовому составу руд.

Екатерининское рудопроявление представлено маломощными линзами золотоносных гематитовых руд, не увязанных между собой в зоне контакта гранитов с известняками. Уровень эрозионного среза незначительный, судя по гематитовому составу руд. Рекомендуется выполнить поиски поперечных контакту сульфидно-кварцевых жил вкрест ранее пройденным разведочным линиям.

Алексеевское рудопроявление представлено вишнево-красной глиной в карстовой полости на контакте гранитов и известняков. Скважинами пересечены гематитовые руды, содержащие от 0,1 до 16,0 г/т Au. Рекомендуется выполнить поиски поперечных контакту сульфидно-кварцевых жил. Уровень эрозионного среза незначительный, судя по гематитовому составу руд.

Грязненское рудопроявление представлено мощной (10–80 м) зоной гематитизированных известняков, прослеженных на 500 м вдоль контакта с кварцевыми диоритами. В гематитовых рудах встречены пирит и халькопирит. Содержания Au от 8,1 до 9,1 г/т. Увязка разрозненных рудных пересечений вызвала затруднения. Рекомендуется выполнить поиски поперечных контакту сульфидно-кварцевых жил. Уровень эрозионного среза незначительный, судя по пирит-халькопиритовому и гематитовому составам руд.

Рудопроявление Сопки Высотского представлено халькопирит-пирит-пирротиновой прожилково-вкрапленной минерализацией в рассланцованных доломитах и роговиках. Не изучены поперечные к тектонической зоне структуры. Уровень эрозионного среза значительный. Промышленное оруденение может быть развито до глубины 200 м от поверхности.

Рудопроявление Высота 830 представлено маломощными кварцевыми жилами длиной до 100 м в штоке кварцевых диоритов. Содержания золота высокие. В кварце развита халькопирит-пирротин-пиритовая минерализация. Промышленное оруденение может быть развито на глубину до 300 м от поверхности.

Китатское рудопроявление представлено сульфидно-кварцевыми жилами с пиритом и халькопиритом в кварцевых диоритах и роговиках. Содержания золота высокие. Глубина эрозионного среза не-

большая. Геолого-структурные условия локализации жил в полной мере не изучены.

Неожиданное рудопроявление представлено 1,5 м зоной гематитизированных известняков с линзами халькозин-гематитовых руд с высокими содержаниями золота. Эрозионный срез незначительный. Параметры не установлены.

Краткий обзор золотоносности Ольховско-Чибижевского рудного узла показывает, что перспективы выявления новых месторождений в его пределах далеко не исчерпаны. На большинстве рудопроявлений золота остались не выявленными геолого-структурные условия локализации прогнозируемых рудных тел, предположительно ориентированных поперечно контакту интрузивных пород с карбонатными.

Вопросы генезиса золоторудных месторождений рассмотрены на примере золоторудных месторождений Ольховско-Чибижевского рудного узла. Месторождения парагенетически связаны с Шиндинским гранитоидным плутоном и локализованы в эндо- и экзоконтактной зонах шириной 0,6–1 км. Центральная часть плутона не содержит проявлений золота.

На Лысогорском месторождении автором наблюдалось постепенное увеличение альбита в составе богатой золотом сульфидно-карбонат-кварцевой жилы, полого падающей по направлению к центру массива. Это происходило до тех пор, пока жила не сменилась маломощной альбитовой дайкой. Через 100 м дайка потеряла резкие очертания в ореоле розовато-серых калишпатизированных плагиогранитов, фиксирующих, вероятно, область концентрации или зарождения рудообразующих флюидов в плагиогранитном массиве.

Судя по альбитовому и карбонат-кварцевому составам жилы, рудообразующий флюид в теле раскристаллизовавшегося и остывающего гранитоидного массива не мог содержать значительного количества воды. По-видимому, он был представлен высокощелочным расплавом силикатного стекла или его более низкотемпературной разновидностью — силикатным клеем.

Наличие полевых шпатов — не редкость для жильных месторождений, парагенетически связанных с интрузивными или субвулканическими породами. Так, на золото-серебряных месторождениях жилы сложены адуляром и кварцем. Вероятнее всего, их полосчатая текстура обусловлена не циркуляцией многочисленных потоков гидротермальных растворов, а явлением течения фаз пересыщенного жидкого стекла в близповерхностных условиях быстрого падения температуры.

Кристаллизация флюида происходила при потере щелочей на альбитизацию и серицитизацию по-

род на фоне снижения температуры с учетом эндотермических и экзотермических реакций минералообразования. Состав внедренного в рудоносные ловушки рудообразующего флюида и его дифференциатов, вероятно, соответствовал составу рудных тел на разных уровнях среза зональной колонны рудоотложения с учетом вынесенных из него компонентов в боковые породы и привнесенных из них.

Судя по температурам распада твердых растворов с образованием пластинок кубанита в халькопирите (450°C) и тончайшей эмульсии халькопирита в мелких (0,06–0,2 мм) выделениях сфалерита в халькопирите (250°C), средне- и низкопробное золото пирротин-халькопиритового парагенезиса выделялось при высокой температуре, а высокопробное золото пирит-кварцевого парагенезиса, по существу, из расплава кварцевого стекла при температуре >450°C.

Кристаллизацией высокопробного золота в кварце и пирите начинался процесс рудообразования. Затем при дальнейшей кристаллизации сульфидов происходило выделение золота средней и низкой проб вплоть до электрума. Наконец, при избытке меди и ртути в остаточном флюиде кристаллизовалось медистое золото в сростках с высокопробным и ртутистое золото в поздних парагенезисах. Отказ от гидротермальной гипотезы образования руд, вероятно, позволит более тесно связать типоморфные особенности состава золота с параметрами рудообразования для различных гипсометрических срезов зональной рудной колонны. Процесс рудообразования, по всей вероятности, не был длительным и определялся периодом остывания и кристаллизации силикатного флюида, внедрившегося в область рудоотложения.

Высокая реакционная активность рудообразующего флюида с карбонатными породами приводила к метасоматическому замещению доломитов сульфидными и гематит-халькозиновыми рудами с полной кристаллизацией флюида на удалении до 100–300 м от интрузивных пород. Образующийся при этом жильный карбонат, слабо насыщенный гематитовой пылью, проникал по трещинам на большие расстояния. Он может рассматриваться в качестве поискового критерия, указывающего на наличие богатых руд на глубине.

Итак, фациальная зональность отложения парагенетических минеральных ассоциаций и сингенетических с ними выделений золота разного состава в рудных телах обусловлена вертикальной дифференциацией рудообразующего потока высококон-

центрированного силикатного флюида с рудными компонентами, одноактно внедренного в рудовмещающие структуры и запаявшего их. Такая зональность позволяет оценивать глубину эрозионного среза рудных месторождений, в том числе по типоморфизму золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геологическое строение, минеральный состав и условия формирования золото-ртутного месторождения Кючюс (Якутия, Россия) / Р.О.Берзон, И.А.Брызгалов, В.О.Коньшев и др. // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 6. С. 485–506.*
2. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соли- и нефтеобразовании. – М.: ЦНИГРИ, 2001.*
3. *Коньшев В.О. Модели нетрадиционных стратоидных золоторудных месторождений Алтае-Саянской провинции // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири и прилегающих территорий. Красноярск, 2007. С. 35–51.*
4. *Коньшев В.О. Федоровско-Кедровское рудное поле (литолого-стратиграфический контроль и потенциал золотоносности) // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 22–28.*
5. *Коньшев В.О., Савостьянов Е.В., Власов Г.Н. Месторождение Федоровское-1 в Кемеровской области и особенности методики разведки объектов с крупным золотом // Руды и металлы. 2003. № 5–6. С. 20–34.*
6. *Петровская Н.В. О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация» // Геология рудных месторождений. 1967. № 2. С. 69–78.*
7. *Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973.*
8. *Сыроватский В.В. Состав и элементы-примеси самородного золота Ортоно-Федоровской рудной зоны // Тр. Зап.-Сиб. отд-ния ВМО. Новосибирск, 1974. Вып. 1. С. 122–127.*
9. *Тимофеевский Д.А. Золоторудные месторождения Восточных Саян (Ольховское и Константиновское) // Геология главнейших золоторудных месторождений. М., 1950. Т. 1.*
10. *Фрицлер В.О. О влиянии вмещающих пород на вещественный состав руд Константиновского золоторудного месторождения // Минералы и парагенезисы минералов, горных пород и руд Красноярского края. Новосибирск, 1982. С. 145–149.*
11. *Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М.: Недра, 1974.*
12. *Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В., Колтаков В.В. Федоровское месторождение золота и перспективы золотоносности Южно-Сибирской рудной провинции (Горная Шория) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 10. С. 979–992.*

УДК 681.3.06:553

© А.М.Вахрушев, 2010

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ОБОСОБЛЕНИЯ РУДНЫХ МАСС ПРИ СУБГОРИЗОНТАЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ СУЛЬФИДНО-СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

А.М.Вахрушев (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Анализируется компьютерная модель гравитационного расслоения многокомпонентного силикатного расплава в динамике его движения по магматическому каналу, которое сопровождается обособлением и укрупнением диспергированных частиц рудосодержащего вещества с осаждением их на дне канала. Анализ моделирования слипания частиц указывает на возможность образования крупных рудных агрегатов.

Ключевые слова: медно-никелевые месторождения, компьютерное моделирование, рудонакопление.

Вахрушев Андрей Михайлович, e-mail okt@tsnigri.ru

COMPUTER MODELS OF ORE MASSES SEPARATION DURING SUBHORIZONTAL FLOWING OF MULTI-COMPOUND SULPHIDE-SILICATE LIQUIDS

A.M.Vahrushev

The author analyzes computer models of gravity stratification of the multi-compound silicate liquid during its moving along the magmatic channel. This process is accompanied by formation and growth of dispersed ore particles that are falling down to the bottom of the channel. Simultaneously the lateral zone distribution of different particles is taking place with possibility of forming large aggregated mineral nodules.

Key words: Cu-Ni deposits, computer modeling, ore formation.

Представления о формировании сульфидных залежей при гравитационном разделении сульфидно-силикатных расплавов разработаны М.Н.Годлевским [2] на основе наличия в расплавах сульфидных обособлений, не смешивающихся с силикатными составляющими. В дальнейшем эти подходы получили развитие в экспериментах А.П.Лихачева [8]. В них, как и в ряде других, рассматривалось расслоение расплавов *in situ* в относительно стабильных магматических камерах.

Как показано многими исследователями, наиболее хорошо изученный субгоризонтально залегающий рудоносный Талнахский интрузив обладает признаками дифференциации пород по латерали — от меланократовых в тыловых зонах до лейкократовых во фронтальных. На многих месторождениях Норильского района наблюдается латерально-вертикальная зональность в размещении руд: тонковкрапленные, нодулярные сосредоточены в «висячих» залежах, массивные — в придонных частях.

Автором данной работы анализируется модель гравитационного расслоения многокомпонентного силикатного расплава при его продвижении по магматическому каналу, что сопровождается обособлением и укрупнением диспергированных частиц рудосодержащего вещества с осаждением на дне канала.

Методические основы моделирования рудонакопления в движущихся сульфидно-силикатных

расплавах были разработаны в ЦНИГРИ под руководством А.И.Кривцова. Как показано в ряде публикаций [3–5], такое моделирование дает возможность воспроизвести места и масштабы накопления рудного вещества, его распределение по латерали и вертикали с оценкой интенсивности, выявлять рудную зональность и определять требования к компьютерному моделированию [4]. Исходя из результатов проведенных ранее исследований [1, 3, 12] создана компьютерная модель переноса рудного вещества, учитывающая реальные физические величины, присущие силикатным расплавам и содержащимся в них частицам сульфидного расплава, что позволило перейти к численным значениям параметров моделируемого процесса и установить закономерности рудонакопления на дне модельного магматического канала.

Существенное значение для моделирования имеет протяженность магматического (расплавного) тела. В недавней работе А.Г.Самойлова и др. [9] показано, что Талнахский и Норильский интрузивы принадлежат к единой субгоризонтальной интрузивной колонне и первично сопрягались через ныне эродированный Пясинский вал. Отсюда следует, что протяженность магматического тела составляла не менее 60 км (рис. 1).

В данной работе модель магматического канала описывается его вертикальным продольным разрезом с изменчивым поперечным сечением [1]. Принимается, что сульфидные частицы поступа-

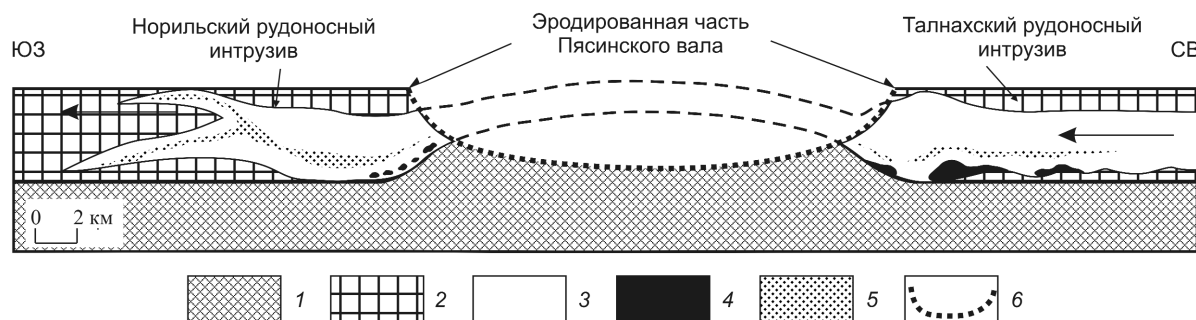


Рис. 1. Схематическая реконструкция положения Норильско-Талнахской рудоносной интрузивной колонны в мезокайнозойский период, составил А.М.Вахрушев с использованием материалов А.Г.Самойлова и др. [9]:

1 — кембрийско-силурийская карбонатно-терригенная толща; 2 — девонско-пермская сульфатно-карбонатно-терригенная толща; 3 — Норильско-Талнахский рудоносный интрузив; 4 — массивные сульфидные медно-никелевые руды; 5 — вкрапленные сульфидные медно-никелевые руды; 6 — граница современного эрозионного среза

ют в область накопления из продвигающегося питающего фронта расплава. В качестве последнего принимается некоторое вертикальное сечение, по высоте которого с заданным интервалом распределены питающие точки с одинаковым составом и количеством минеральных частиц различной плотности.

Размеры расчетного канала выбраны по параметрам Талнахского рудоносного интрузива [3, 4, 11], вязкость и скорости движения расплава взяты по аналогии с расчетными данными и результатами непосредственных измерений вязкости и скоростей течения базальтовых лав [1, 3, 12].

Скорость движения силикатного расплава рассчитана на основе частного решения уравнений Навье-Стокса [6, 7]. Перемещение шарообразной сульфидной частицы происходит под действием движущейся в канале жидкости и силы тяжести. Вектор скорости определяется как сумма скорости перемещения частицы вместе с расплавом по горизонтали и скорости ее осаждения за счет сил гравитации по вертикали. Скорость движения сульфидных капель по горизонтали принята равной средней скорости магматического потока.

Принятое «пошаговое» перемещение питающего фронта отвечает прерывистому поступлению частиц в форме серии волн. В целом питающая система состоит из m фронтов, в каждом из которых находится n питающих точек, содержащих по k частиц, так что общее количество частиц в модели равно $m \cdot n \cdot k$.

Для компьютерно-графического моделирования принимались следующие параметры питающей системы: длина канала $L > 20$ км, максимальная мощность (высота) канала $H = 100$ м, макси-

мальное количество питающих точек на один фронт $n = 100$, минимальное расстояние между питающими точками по вертикали $\Delta h = 1$ м, расстояние между фронтами по горизонтали $\Delta l = 5$ м, максимальное число питающих фронтов $m = 7000$ для четырех вариантов строения канала — субгоризонтального, воздымающегося, погружающегося с переходом к субгоризонтальному, осложненного выступом дна.

Сульфидные минеральные частицы, заданные в расчетах, разделяются на две группы — условно тяжелые (изоферроплатина, плюмбопалладинит) и условно легкие (магнетит, пирротин, пентландит, хромит, халькопирит).

В субгоризонтальном канале (рис. 2, а) стабилизация накопления происходит на отметке 6 км. После прекращения поступления новых частиц в расчетный канал доосаждение оставшихся в нем продолжается до отметки 12 км.

В воздымающемся канале (см. рис. 2, б) подъем дна ($\sim 5^\circ$) кардинально меняет динамику осаждения вещества — стабилизация накопления наблюдается уже на отметке 1 км, доосаждение — в интервале от 1 до 2 км, т.е. интервалы накопления частиц сокращаются более чем в 5 раз.

В нисходящем канале с переходом к пологозалегающему (см. рис. 2, в) отмечается более сложная картина осаждения частиц. До излома дна оседают только наиболее тяжелые частицы, а непосредственно за ним наблюдается их пиковое осаждение. После излома масштаб осаждения легких частиц возрастает до отметки 10 км, после которой плавно снижается до отметки 35 км, где происходит стабилизация процесса осаждения и доразгрузка системы на отметке около 40 км.

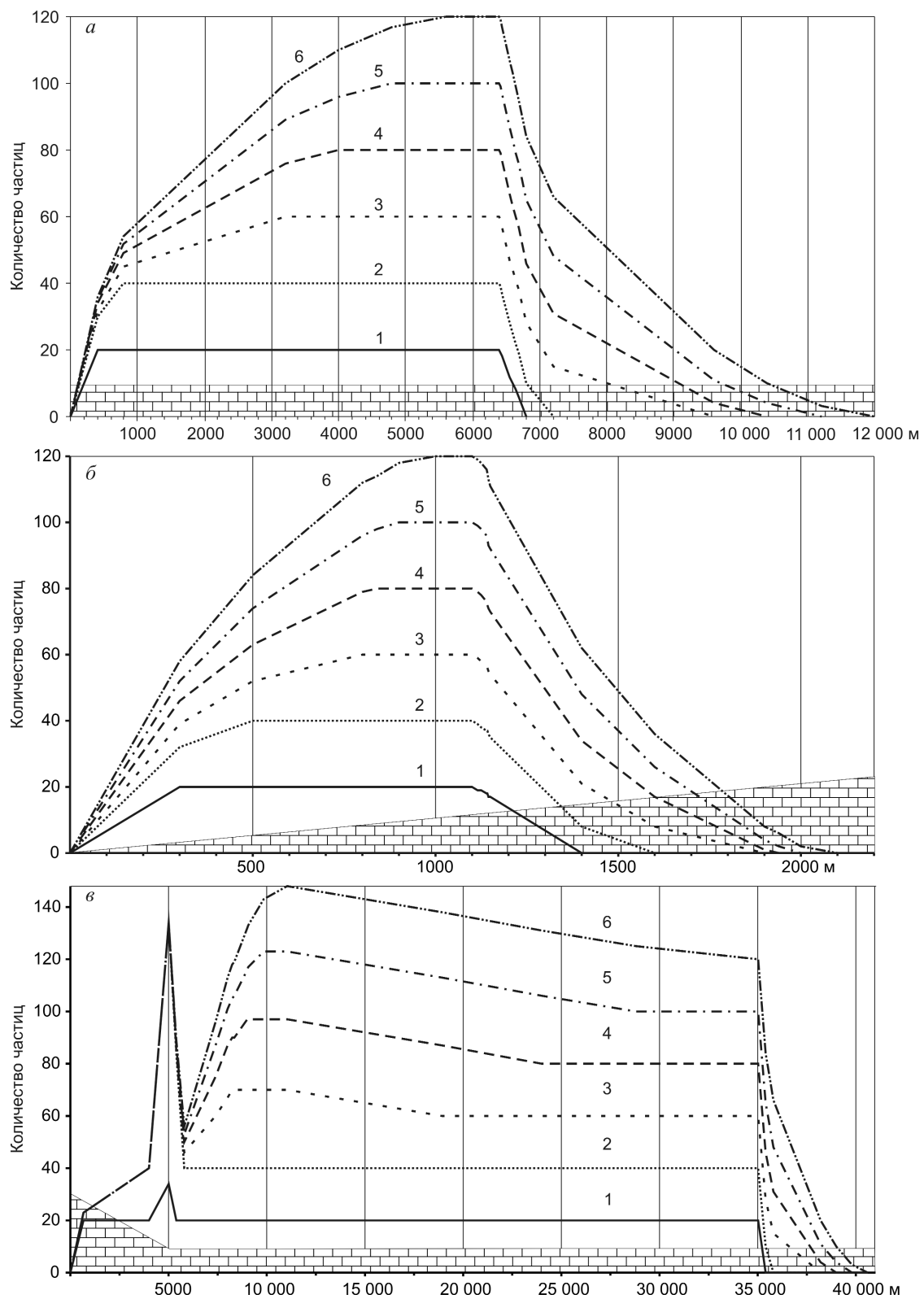


Рис. 2. Распределение частиц на дне горизонтального (*a*), воздымающегося (*б*) и погружающегося с переходом к горизонтальному (*в*) каналов:

линии, фиксирующие количество осевших минеральных частиц: 1 — изоферроплатина, 2 — плюмбопалладинит, 3 — магнетит, 4 — пирротин (пентландит), 5 — хромит, 6 — халькопирит

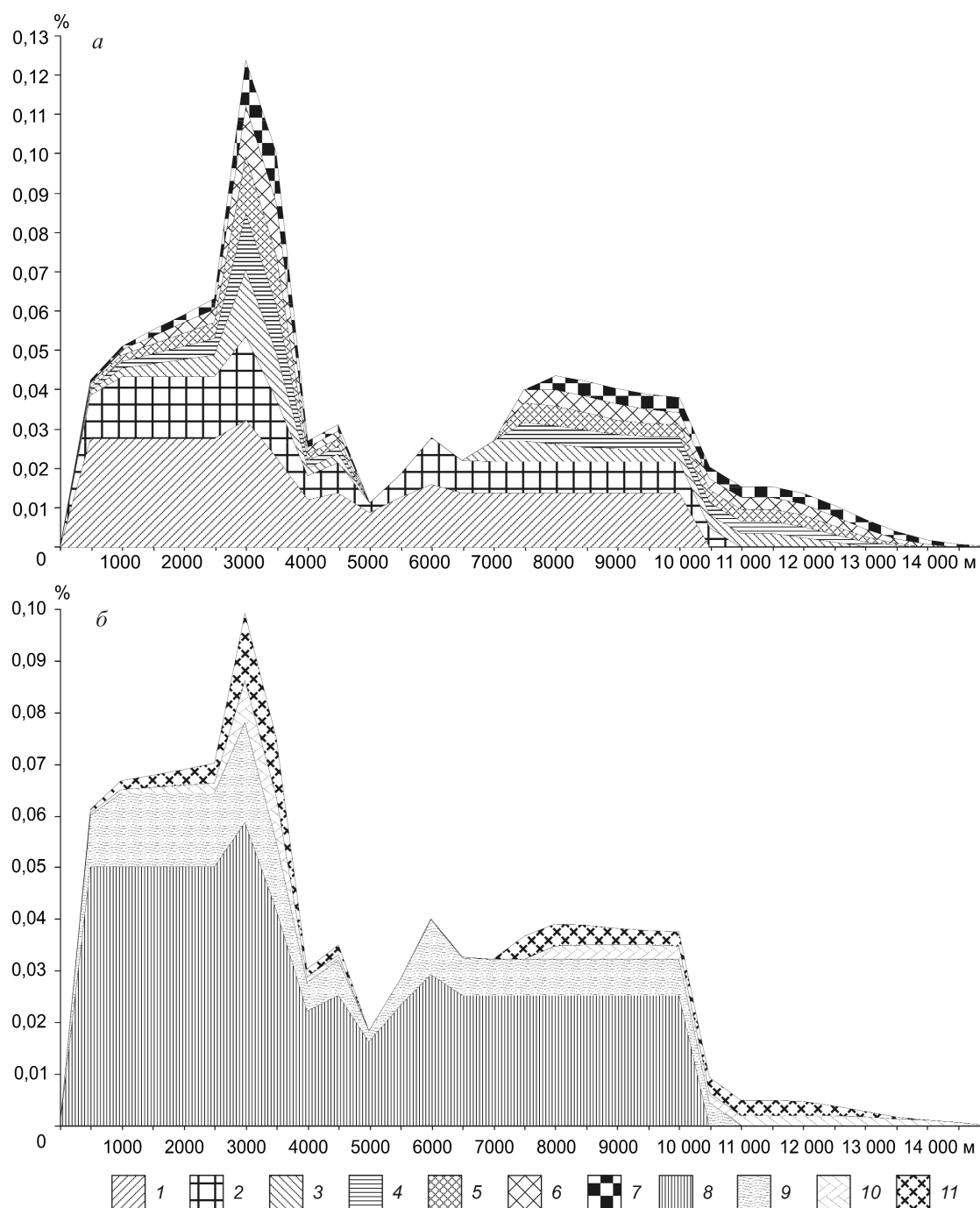


Рис. 3. Обобщенное распределение рудных минералов (а) и металлов (б) на дне канала, осложненного выступом дна:

1 — изоферроплатина, 2 — плюмбопалладинит, 3 — магнетит, 4 — пирротин, 5 — пентландит, 6 — хромит, 7 — халькопирит, 8 — платина, 9 — палладий, 10 — никель, 11 — медь

Для канала, осложненного выступом дна (подъем дна — «плотина» — сокращает мощность питающей системы наполовину, начинается в 3 км от начала канала и продолжается до 4 км; в интервале

4–5 км подъем сменяется горизонтальной площадкой на высоте 50 м, в интервале 5–6 км последняя сменяется склоном) интегральная картина распределения всех учтенных при моделировании условных

Распределение минералов на дне канала по различным зонам рудонакопления

Удаленность от начального фронта разгрузки, км	Минерал (доля от массы осевших частиц в интервале, %)						
	IFPt (Pt)	PPd (Pd)	Mgt (Fe)	Pугг	Pent (Ni)	Crt (Cr)	Chp (Cu)
3,5	6,9	7,7	14,5	16,6	16,6	18,9	18,8
6	43,3	56,7	-	-	-	-	-
8	10,9	10,9	14,8	16,6	16,6	15,7	14,4
13	-	-	1,7	17,1	17,1	28,2	35,9
15	-	-	-	-	-	-	100,0

минералов, а также содержащихся в них основных полезных компонентов — условных металлов (Pt, Pd, Ni, Cu) представлена на рис. 3.

Частицы из группы тяжелых характеризуются достаточно стабильным распределением масс на всем протяжении канала. Это в значительной степени зависит от влияния выступа дна, ограничивающего максимальную мощность питающей системы.

Легкие частицы осаждаются по эффекту «дюны», когда в начале «плотины» происходит пиковое накопление массы рудного вещества, а на ее склоне и в некоторой области за подъемом — накопление фактически отсутствует. Выступ дна аккумулирует вещество на своей передней стенке и формирует область с нулевым накоплением («окно») в некотором интервале после верхней площадки. При этом, чем легче минерал, тем интенсивнее он аккумулируется на подъеме и тем длиннее «окно» нулевых значений его масс. После «окна» наблюдается скачкообразный рост продуктивности, сопровождаемый постепенной стабилизацией среднеинтервальной доли осевшей массы. Небольшие пики в распределении массы тяжелых и легких минералов за «плотиной» связаны с осаждением пролетных (не задержанных выступом дна) частиц из верхней области питающей системы. После прекращения поступления новых частиц в систему с отметки 10 км осаждаются оставшиеся.

Для случая «плотина» рассчитаны значения доли каждого из минералов от общей массы осевших частиц в пятидесятиметровом интервале на различном удалении от начала канала (таблица). От тыла к фронту продвижения рудоносной расплава выделяются значительно удаленные друг от друга минеральные зоны: полиминеральная (на 3,5 км) с изоферроплатиной, плюмбопалладинитом, магнетитом, пирротинном, пентландитом, хромитом, халькопиритом; биминеральная (на 6 км) с изоферропла-

тиной и плюмбопалладинитом; две полиминеральные (на 8 и 13 км); мономинеральная — наиболее удаленная — халькопиритовая. Таким образом, в варианте «плотина» смоделирована минеральная латеральная зональность.

Численно-графическим моделированием плотностной дифференциации минералов в магматическом потоке для субгоризонтального, воздымающегося, погружающегося с переходом к субгоризонтальному и осложненного выступом дна каналов проиллюстрированы зависимость дальности переноса рудных частиц от их плотности, а также характерное влияние рельефа дна на процесс осаждения и зональное распределение минералов. В итоге получена расчетная картина сепарации рудной составляющей расплава в обстановке его ламинарного течения в пологозалегающем трубообразном канале эллиптического сечения. Она не противоречит основным положениям ранее предложенных количественных геолого-генетических моделей сульфидно-силикатных систем [4, 5, 10, 11].

Результаты компьютерного моделирования дифференциации сульфидного вещества в магматическом канале, осложненным выступом дна («плотина»), экспериментально подтверждают реальное распределение сульфидной массы в придонных частях Талнахского интрузива, установленное А.И.Кривцовым с соавторами [11] и А.П.Лихачевым [8], — ее максимальное накопление в пережимах мощности интрузива на перегибах его основания. Зона наибольшего сульфидонакопления при этом тяготеет к северному склону поперечного выступа основания (Пясинский вал), который может рассматриваться в качестве «плотины» (см. рис. 1). Как было показано выше, Норильский рудоносный интрузив, располагающийся за южным склоном поднятия и несущий преимущественно вкрапленные руды, является продол-

жением к югу Талнахского интрузива. Он отделен от последнего эрозионным «окном» шириной около 20 км.

Результаты моделирования, описанные выше, не учитывали возможности слипания минеральных частиц. В природных системах процессы слияния (укрупнения) рудных частиц на пересечении траекторий их движения обуславливают существенно меньшую (чем в эксперименте) протяженность интервалов рудонакопления и их высокую продуктивность. Данная ситуация смоделирована на основе варианта субгоризонтального канала с сокращением максимального количества питающих фронтов до 100 и количества базовых частиц, поступающих в систему, до 3 (из них 1 частица халькопирита, 1 — пентландита и 4 слившихся пирротиновых частицы). В точке пересечения траекторий движения частиц фиксировалось слипание и возникала поликомпонентная частица.

Была проведена серия экспериментов с постепенным увеличением количества питающих волн в системе (20–40–60–80–100). По их результатам установлено, что при достижении определенной плотности питающей системы происходит процесс лавинообразного слипания частиц с образованием особенно крупного сульфидного агрегата. Самая крупная частица, образовавшаяся в процессе слипания, состоит из 3906 различных базовых частиц, имеет массу около 150 г и радиус порядка 2 см. Для сравнения, наиболее крупная базовая частица (пирротин) имеет массу 0,08 г, радиус 0,15 см.

По результатам моделирования выявлено резкое нарастание крупности частиц с последующей стабилизацией их масс и размеров. Также обнаружено, что после образования крупной частицы добавление в систему питающих фронтов не вызывает вновь лавинообразного накопления, а лишь продлевает интервал стабилизации крупности частиц. Скорее всего, это является следствием упорядоченности питающей системы.

Установленное по результатам компьютерного моделирования обособление крупных сульфидных агрегатов можно рассматривать как предпосылку образования в придонных частях интрузива сульфидной жидкости, которая имеет гораздо меньшую вязкость, чем силикатный расплав, и выступает в роли смазки. С учетом этого положения проанализировано совместное течение двух разных по характеристикам несмешивающихся жидкостей в центральном вертикальном сечении канала для различных отношений мощностей слоев этих жидкостей. Для сульфидной и силикатной фаз приняты значения плотности, равные 4780 и

3000 кг/м³, вязкости — 10 и 1000 пуаз соответственно. Высота сечения принята 100 м при протяженности канала 42 км. Отношение мощностей сульфидного и силикатного слоев варьировалось в диапазоне от 0 (только силикатная составляющая) до 1 (равные по мощности слои сульфидной и силикатной жидкости).

Расчеты показывают, что наличие менее вязкой сульфидной смазки влияет на скорость продвижения силикатного расплава. Так, при толщине сульфидного слоя 10 см средняя скорость движения силикатного расплава возрастает на 27%, а при толщине 1 м — более чем в 2,5 раза. При отношении мощностей сульфидного и силикатного слоев 1:10 средняя скорость движения сульфидной составляющей становится больше скорости силикатного слоя и продолжает расти с увеличением этого отношения. В то же время, средняя скорость силикатной составляющей уменьшается.

По результатам моделирования видно, что менее вязкая сульфидная жидкость не только оказывает действие «смазки» на силикатную составляющую, но при существенной мощности слоя по скорости начинает ее опережать. Это подтверждает возможность продвижения в реальных природных системах крупных масс осевшего сульфидного вещества, а в некоторых случаях даже говорит о возможности опережения сульфидными скоплениями фронта движущегося силикатного расплава.

Итак, моделирование течения сульфидно-силикатного расплава без учета слипания частиц в эллиптическом канале показало зависимость накопления масс рудосодержащего вещества от рельефа дна. Анализ установленной латеральной минеральной зональности позволяет определить, к какой продуктивной части интрузива может принадлежать то или иное сечение. Это дает возможность направить поиски на наиболее рудоносные его части, а также наиболее вероятные места скопления руд определенного состава.

Эксперименты со слипанием частиц указывают на возможность образования особо крупных быстро осаждающихся агрегатов, что служит предпосылкой для накопления в придонных частях сульфидной жидкости.

Изучение продвижения двухкомпонентного расплава выявило дифференциацию скоростей течения сульфидной и силикатной составляющих и возникновение эффекта «смазки», действующего со стороны сульфидной жидкости на силикатную.

Дальнейшего изучения заслуживает объединение рассмотренных случаев движения сульфидно-силикатных расплавов в единую систему с меняющимися режимами питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев А.М. Обособление рудных компонентов в динамике перемещения рудно-силикатных расплавов по горизонтали (абстрактная модель) // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 74–82.
2. Годлевский М.Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968. С. 7–84.
3. Дубов Н.В., Звездов В.С. Компьютерная модель переноса сульфидных капель рудоносным силикатным расплавом в трубообразном канале эллиптического сечения // Отечественная геология. 2002. № 5–6. С. 27–32.
4. Кривцов А.И. Методические основы моделирования рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 69–73.
5. Кривцов А.И., Чиждова И.М., Евстигнеева Т.Л. Количественные характеристики рудонакопления в сульфидно-силикатных расплавах // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 55–66.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.
7. Литвинов В.В., Литвинова О.И. Элементы вычислительной гидродинамики: учебное пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 1997.
8. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
9. О возможности открытия уникальных россыпей платиноидов в Норильском районе / А.Г.Самойлов, В.Ф.Кравцов, В.А.Шатков и др // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 2. С. 10–14.
10. Система моделей месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, М.М.Константинов, В.В.Кузнецов и др. // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 11–31.
11. Cu-Ni-МПП месторождения норильского типа. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, В.И.Кочнев-Первухов, О.М.Конкина и др. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
12. Lago Bernard L., Rabinowicz Michel and Nicolas Adolphe. Podiform Ore Bodies: a Genetic Model // J. of Petrology. 1982. Vol. 23. Part 1. P. 103–125.

РЕЦЕНЗИИ



УДК 553.41 (574)

© М.М.Константинов, 2010

ЗОЛОТО НЕДР КАЗАХСТАНА*

М.М.Константинов (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

LODE GOLD OF KAZAKHSTAN

М.М. Konstantinov

Вышла в свет монография М.С.Рафаиловича «Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели» (304 с., 89 рис., 20 табл.). Автор — известный специалист в области геологии и геохимии золоторудных районов и месторождений, один из лидеров геологической науки в Казахстане. Золотоносная провинция Казахстана — составная часть общемирового сырьевого комплекса с разнообразными типами и источниками оруденения, а также значительным потенциалом открытия и освоения новых рудных районов и месторождений. Ряд эталонных месторождений республики служат образцами для прогноза аналогов в других рудных провинциях. Все это определяет актуальность монографии М.С.Рафаиловича.

Впечатляет, прежде всего, органичное соединение фундаментального научного исследования и четкой практической направленности работы: разработанные М.С.Рафаиловичем модели рудно-геохимической зональности базируются на системном анализе огромного фактического материала и в то же время наглядны и просты для практического применения.

В главе 1 приводится систематика месторождений золота Казахстана, основанная на тектоническом и формационном анализе. В специальной таблице показаны формационный состав руд золота, распределение месторождений во времени, пространстве и по геодинамическим структурам, индикаторные соотношения с вмещающей средой, их практическая значимость. Подчеркнуты максимальная продуктивность на золото позднеордовикского, ранне-среднедевонского, каменноугольного и позднемелового тектонических этапов, тесная связь ведущих типов руд с островными дугами,

вулканоплутоническими поясами, коллизионными образованиями, внутриконтинентальными шовными зонами.

В главе 2 рассматриваются закономерности размещения, вещественный состав и поисковые критерии месторождений золота. Достаточно подробно, с учетом новых материалов, охарактеризованы классификационно-признаковые модели крупных месторождений Акбакай, Васильковское, Бакырчик. Особое внимание уделено слабо освещенным в литературе типам руд — штокверковым и корам выветривания. Анализируются перспективы и возможности освоения комплексных золото-скарновых, золото-медно-порфириновых, золото-колчеданных месторождений. Справедливо сделан акцент на необходимость детального изучения и освоения в Казахстане крупнотоннажных месторождений с бедными и убогими содержаниями золота (штокверки, минерализованные зоны, эксплозивные брекчии и др.). Основные положительные моменты этой части работы — богатый фактический материал, описание объектов в едином ключе, оригинальные сопоставления и реконструкции, насыщенность удобными для восприятия рисунками и таблицами.

Глава 3 посвящена сравнительному анализу казахстанских и зарубежных эталонов месторождений золота. В качестве объектов сравнения обоснованно выбраны представительные крупные месторождения: золото-кварцевые жильные, ассоциирующие с малыми интрузивами и дайковыми комплексами (Акбакай, Бестюбе, Жолымбет, Березовское и др.), золото-полисульфидно-кварцевые штокверковые в гранитных плутонах (Васильковское, Форт-Нокс, Джеруй, Джилао), золото-мышьякови-

* Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. — Алматы, 2009.

сто-сульфидные и золото-кварцевые в черносланцевых толщах (Бакырчик, Кумтор, Кокпатас, Сухой Лог, Мурунтау, Нежданинское). Автор прав, подчеркивая, что казахстанские и зарубежные эталоны формировались по единым или очень близким сценариям, что они сходны по многим параметрам. Этот вывод может служить основой для совершенствования методики поисков месторождений, стать ориентиром для открытия в Казахстане и других регионах новых рудных объектов.

В главе 4 рассматривается прогнозная экспертная система «Генезис», трансформированная для организации автоматизированных баз знаний, количественной оценки эрозионного среза и масштабы золотого оруденения. Данная технология прогнозирования сформирована и апробирована на примере месторождений акбакайского типа (выборка содержит более 15 объектов). Отличительные ее особенности: оптимальное сочетание геологических знаний с современными достижениями в сфере экспертных систем и имитационного моделирования; синтез больших объемов информации, включая неполные и «размытые» знания; экспрессность обработки материалов и оперативное получение экспертных заключений; выход на новые прогнозно-поисковые комплексы. Автор считает, что для количественного прогноза применима самая разнообразная геологическая информация (состав вмещающей среды, структурные признаки, гидротермальные изменения пород, мофология рудных тел и т.д.), но наиболее достоверные оценки получают при анализе типоморфизма минералов и минералого-геохимической зональности месторождений. Важно иметь в виду, что надежность прогноза и его количественное

выражение во многом определяются не только (и не столько) качеством привлекаемой технологии экспертных систем, сколько квалификацией, опытом и знаниями геолога-эксперта. Данное направление представляет особенный интерес для оценки месторождений золота на ранних стадиях геологоразведочных работ.

К сожалению, в СССР и, по наследству, в республиках отсутствовал статус специалиста-эксперта, видимо, из-за глубоко укоренившегося ошибочного представления о том, что «незаменимых людей нет».

В заключительной части монографии рассматриваются нетрадиционные источники руд золота и нетрадиционные типы месторождений Казахстана. Изучение и оценка коммерческой значимости нетрадиционных источников благородного металла — одна из приоритетных задач геологической отрасли. В качестве пожелания на будущее следует рекомендовать углубленное обоснование возможностей обнаружения в Казахстане осадочных месторождений золота стратоидного типа.

Некоторую неудовлетворенность вызывают типизации автора: многообразные труднозапоминаемые «типы» — акбакайский, васильковский, секисовский, ашиктасский, бахкымбайский и т.п. — малоинформативны. К сожалению, автор остался в стороне от богатого опыта рудно-формационных и геолого-промышленных классификаций для золота, наработанного в СССР и России.

Монография М.С.Рафаиловича — ценный вклад в учение о рудных полезных ископаемых, настольная книга и богатый справочный материал для специалистов различного профиля, работающих в геологической отрасли.



УДК 553.068.5 (85)

© А.Б.Сорокин, С.М.Мешалкин, О.В.Хотылев, 2010

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОСОВЫХ РОССЫПЕЙ В РАЙОНЕ МАДРЕ-ДЕ-ДИОС, ПЕРУ

А.Б.Сорокин, С.М.Мешалкин, О.В.Хотылев (НИИ «Зарубежгеология»)

Приведен пример организации эксплуатации россыпей с мелким золотом в департаменте Мадре-де-Диос, Перу. В пределах района выделяются два россыпных узла — Вайпету-Кайчиве и Мадре-де-Диос. По каждому узлу даны разрезы продуктивных толщ, описаны особенности их отработки и приемы поисков россыпей. Приводятся содержания Au и его характеристики.

Ключевые слова: косовая россыпь, золото, Перу, терраса, палеодолина.

Сорокин Александр Борисович, sorokin57@bk.ru, Мешалкин Сергей, Хотылев Олег.

OPERATION BAR PLACERS IN AREA MADRE-DE-DIOS, PERU

A.B.Sorokin, S.M.Meshalkin, O.V.Hotylev

The example of the organisation of operation of placers with small gold in department Madre-de-Dios (Peru) is shown. Within area are allocated two placer clusters — Vajpetu-Kajchive and Madre-de-Dios. On each knot cuts of productive thicknesses are resulted, features of their working off are described. Methods of prospecting of placers are described. There are contents of gold and characteristics of grains.

Key words: bar placer, gold, Peru, a terrace, paleovalley.

Вопрос отработки косовых россыпей поднимался в России еще в начале прошлого века [3]. В настоящее время технически это вполне возможно, но добывать золото из таких россыпей нельзя по российскому законодательству. Проведение геологоразведочных работ на косовых россыпях заведомо нерентабельно, а без подсчета запасов добыча золота незаконна. В других странах организация добычи из подобных россыпей приносит существенную выгоду, обеспечивает занятость значительного количества людей и позволяет осваивать труднодоступные территории. Так, в департаменте Мадре-де-Диос (Перу), который расположен в практически не пригодной для жизни сельве у восточного подножия Анд, за счет эксплуатации россыпных месторождений живут десятки тысяч людей. Ежегодная добыча золота только по официальным данным за последние десятки лет составила от 10 до 15 т. В пределах района выделены два россыпных узла: в предгорьях Анд — Вайпету-Кайчиве и по долине р. Мадре-де-Диос с притоками Инамбари и Колорадо.

Россыпи Вайпету-Кайчиве. На территории >100 км² ведутся горно-добычные работы по отработке россыпных месторождений золота в продуктивной толще Вайпету. Уникальность этого объекта определяется главным образом большой мощностью золотоносной толщи Вайпету (>60 м), пред-

ставленной аллювиальными отложениями древней долины Вайпету-Кайчиве.

Первичным источником золота для россыпного района Мадре-де-Диос служат надвинутые на мезозойские осадочные отложения палеозойские метаморфические, вмещающие многочисленную группу месторождений золота различных формационных типов.

Основной промежуточный коллектор россыпного золота в районе — коры глубокого химического выветривания, развитые по породам мел-палеогенового возраста (группы Ориенте, Чонта, Уаубамба). Продукты выветривания, в том числе и золото, поступали в предгорную депрессионную структуру, сформировавшуюся в субандийской зоне осадконакопления между растущей горной системой Анд и Амазонским кратоном. В дальнейшем материал золотоносной коры выветривания неоднократно перемывался древней рекой Вайпету-Кайчиве, русло которой унаследовало предгорную впадину. Это подтверждается сложным геологическим разрезом продуктивной толщи Вайпету, крайне неравномерным распределением золота, составом шлихов и концентратов, полностью состоящих из устойчивых к выветриванию минералов — ильменита, лейкоксена, циркона.

Долины рек Вайпету и Кайчиве имеют северо-западную ориентировку согласно горной системе



Рис. 1. Добычные карьеры месторождения Вайпету-Кайчиве

Анд, асимметричный поперечный профиль, незначительный продольный уклон и широкую пойму с многочисленными протоками и старицами. В бортах долины выделяются аккумулятивные террасы низкой и высокой пойм. Существуют высокие террасы, но охарактеризовать их невозможно, так как левый борт р. Вайпету и правый р. Кайчиве изменены эксплуатационно-добычными работами на ширину в несколько километров (рис. 1).



Рис. 2. Разрез продуктивной толщи Вайпету, вскрытый в борту карьера

Продуктивная толща Вайпету мощностью ~60–70 м представлена несколькими эрозионными циклами, каждый из которых включает несколько ритмов. Разрез толщи сложный и пестрый как по составу, так и по окраске пород — бурой, красно-бурой, желто-белой, белесой. Характерной особенностью разреза является наличие среди песчано-гравийно-галечных отложений прослоев, линз и маломощных горизонтов кварцевых песков светло-серого цвета. В разрезе преобладают галечники с редкими валунами. Петрографический состав их довольно однообразен. Это разноразмерные песчаники кварцевого, кварц-полевошпатового и полимиктового составов, реже — черные сланцы и вулканиты кислого и среднего составов. Средний размер гальки 3×2 см, валунов 12×7 см. Боковые притоки рек Вайпету и Кайчиве осложняют разрез многочисленными конусами выноса пролювиально-аллювиальных отложений, которые также обогащены золотом за счет перемиыва продуктивной толщи.

Древняя долина р. Вайпету-Кайчиве заполнена аллювиальными отложениями, которые повсеместно содержат Au от 0,02 до 0,2 г/м³, участками до 0,3–0,5 г/м³. Как правило, обогащенные участки представлены не протяженными маломощными струями, линзами четковидной формы. Какую-либо закономерность в распределении золота установить трудно, но, по данным местных «минеро», наиболее богатые содержания металла тяготеют к валунникам и прослоям галечников с галькой размером до 9×5 см. Повышенные содержания Au приурочены также к

контактам глинистых и гравийно-галечниковых отложений. Мощность золотоносных песков от 10–30 см до 0,8–2 м. С глубиной содержание золота в разрезе падает. Это хорошо видно по результатам добычных работ, опробованию разреза, вскрытого карьерами до глубины >50 м (рис. 2), и по данным бурения единичных скважин, пройденных в 90-е годы.

Усредненный схематический разрез продуктивной толщи Вайпету (сверху вниз) следующий:

1. Бурые суглинки с редкой галькой и гравием, мощность 6–10 м.

2. Грубообломочная пачка мощностью 8 м — галечники с прослоями песков белого цвета, размер гальки (6–8)×(3–4) см. Повсеместно пачка отработана.

3. Красноцветные и бурые глины с редкой галькой различного петрографического состава, мощность 6 м.

4. Золотоносный горизонт мощностью 2–3 м, представленный ожелезненными песчано-гравийно-галечными отложениями: песок средне-крупнозернистый — 10–15%; галька и гравий — 70–80%; валуны — 3–5%. Содержание Au 0,1–0,25 г/м³.

5. Горизонт белесых мелкозернистых кварцевых песков с линзами и маломощными (10–15 см) прослоями галечников. Мощность горизонта 2–3 м.

6. Золотоносные галечники с глинисто-песчано-гравийным наполнителем. Мощность >2 м.

Ниже — подошва карьера.

Распределение золота по разрезу крайне неравномерное «кустовое». Основная масса продуктивной толщи Вайпету слабозолотоносна, содержания Au в ней колеблются от 0,02–0,08 до 0,1–0,3 г/м³, редко до 0,5 г/м³. Отработка концессий идет на горную массу, в которой отмечается большое количество незолотоносных интервалов, разубоживающих продуктивные пески, и, как следствие, среднее содержание Au в песках, подаваемых на промывку, не превышает 0,15 г/м³. В связи с особенностями золота (малые толщина золотин и их размер) потери металла при промывке большие — не менее 30%, т.е. содержание извлекаемого золота обычно не превышает 0,1 г/м³.

При отработке концессии используется автотранспортная схема подачи песков из карьера к прибору — «чутэ» (рис. 3). Экскаваторами марок



Рис. 3. Общий вид промывочного прибора («чутэ») на участке Вайпету:

1 — приемный бункер; 2 — шлюза мелкого наполнения; 3 — колосниковый грохот

«Кэт» и «Вольво» порода (12–15 м³) загружается в самосвалы «Мичиган», «Вольво-120» и подвозится к промывочному прибору. Порода разгружается в приемный бункер и после обильного смачивания поступает на колосниковый грохот с шириной щели 5–8 мм. Фракция -5–8 мм поступает на двойную деревянную «колоду» с синтетическими ковриками шириной 4–8 м и длиной 12–15 м. Для дополнительного извлечения золота ниже основного шлюза ставится «колода» шириной 2–4 м и длиной 20–40 м, изредка до 60 м, съем на которой проводится один раз в два дня. Съем на основной «колоде» проводится два раза в сутки.

Технология промывки горной массы десятилетиями отработывалась местными старателями и, несмотря на ее кажущуюся примитивность, очень эффективна. В сутки на «чутэ» промывают до 1800–2000 м³ с потерями металла на шлюзах мелкого наполнения до 30% (по данным старателей). Наши отечественные приборы ПГШ и ПГБ различных модификаций, имеющие такую же производительность промывки, даже с дополнительными шлюзами мелкого наполнения подобное золото будут брать не более 60%.

По данным владельцев концессий, съем металла составляет от 40–70 до 200–250 г в сутки. Большинство концессионеров добывают в месяц 4–5 кг металла на один прибор, и, как отмечают многие хозяева концессий, отработка участков одним прибором нерентабельна или малорентабельна.

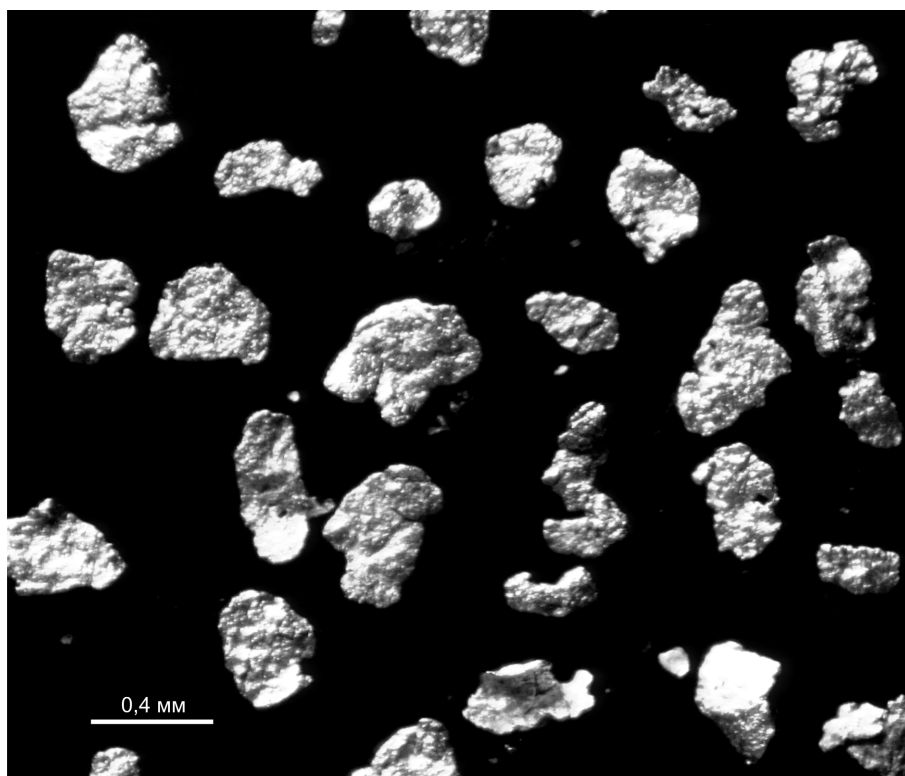


Рис. 4. Золото Вайпету-Кайчиве

На концессиях Вайпету-Кайчиве добычные работы ведут многочисленные старательские бригады на участках площадью от 1–2 до 5–10 км². Здесь никто не продает своих участков, которые закреплены за их хозяевами в течение многих лет и передаются по наследству.

Золото Вайпету-Кайчиве представлено ксеноморфными зернами трещинного и смешанного типов. Форма золотин уплощенная, таблитчатая, единичные зерна — комковатые (рис. 4). Изредка встречаются зерна с фрагментами граней пластинчатых гексагональных кристаллов, а также сложной формы. Золотины в основном слабо окатаны. В плане зерна удлиненные, реже изометричные с неровными угловатыми (~80%) или округлыми (~20%) краями, 40% золотин деформированы —

изогнуты под острым или близким к прямому углом или сложены вдвое. Отдельные зерна несут следы расклепывания с формированием низких валиков на краю. Поверхность золотин покрыта сильной шагренью, из-за чего их блеск тусклый, почти матовый. Цвет металла, как правило, однородный желтый. Максимальный размер золотин на участке составляет 0,8×0,5×0,1 мм. Средняя крупность золотин 0,25 мм (табл. 1). Частотное распределение толщины зерен показано на рис. 5.

Россыпи долины р. Мадре-де-Диос. Долина реки имеет ящикообразный профиль с многоводным руслом и многочисленными островами. Средняя ширина современных аллювиальных отложений составляет ~3–5 км. В долине широко развиты аллювиальные россыпи разных морфологических ти-

1. Карточка ситового анализа золота участка Вайпету-Кайчиве

Показатели	Фракции, мм						Всего
	-0,071	0,071–0,125	0,125–0,2	0,2–0,315	0,315–0,5	+0,5	
Число зерен, шт.	2	11	70	68	6	1	158
Выход металла, %	0,05	1,91	20,91	57,12	11,60	8,42	100
Средняя крупность, мм							0,25
Средняя толщина зерна, мм							0,04

пов: русловые, косовые, террасовые. Согласно генетической классификации россыпей [2, 4], к косовым относятся россыпи береговых отмелей, намывных островов и кос. Россыпи долины имеют форму серповидных линз, длиной до первых сотен метров и шириной от нескольких до первых десятков метров с гнездовым распределением золота, обусловленным исключительно гидродинамическими характеристиками паводкового потока. Мощность золотоносных песков 0,2–1,5 м при среднем содержании Au 0,2–0,3 г/м³. Запасы металла в них не превышают первые десятки килограммов.

Добыча металла ведется из руслового аллювия р. Мадре-де-Диос с применением небольших землесосных драг, иногда с использованием водозабных работ на глубинах до 3–5 м. Обогащение проводится на самодельных приборах «чутэ», суточная добыча Au составляет граммы – первые десятки граммов на один прибор.

Большое значение для местных старателей имеют россыпи береговых отмелей, намывных островов и кос, отложения которых подстилаются речным аллювием. Мощность отложений небольшая — до 1–2 м. Они представлены галечниковыми и песчано-галечниковыми образованиями. Косы обычно сложены песком с галькой, очень редко присутствует небольшая примесь ила. Все продуктивные отложения на отмелях и косах незначительной мощности и залегают практически на поверхности, торфа отсутствуют (рис. 6). Изредка они перекрываются песчаным, песчано-илистым материалом мощностью до 1 м, принесенным паводковыми водами. Длина косовых россыпей первые сотни метров, редко до 500–800 м, ширина от 20–50 до 100–200 м. Наиболее богаты их головные части.

Из косовых россыпей намывается от нескольких до первых десятков граммов Au в день на бригаду старателей (3–15 человек). Сезонная добыча металла (6–7 месяцев) составляет от 1–2 до 10 кг.

Запасы «косового» золота на 1 км² составляют 10–15 кг (по данным старателей). Ценность этих россыпей для местных старателей определяется тем, что они ежегодно восстанавливаются, и многие владельцы концессий в течение десятков

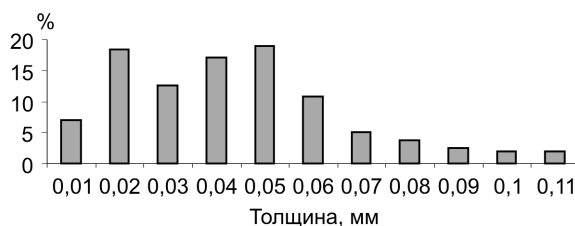


Рис. 5. Частотное распределение толщины золотин участка Вайпету-Кайчиве

лет добывают золото на одних и тех же участках реки. На таких «пляжах» хозяева местных концессий не добывают золото землесосными драгами, боясь испортить участок. По их мнению, применение таких способов добычи нарушает естественное залегание «пляжа», вследствие чего они могут потерять свой стабильный ежегодный заработок. Отрабатывая косу, или «пляж», как говорят местные старатели, они переезжают на другой остров или береговую отмель, не затронутую сезонной отработкой. Работая в районе более 30 лет и при производительности промывки песков 5–10 м³ на одного человека в день, бригады «минеро» будут намывать свои килограммы еще десятки лет, тем более, что косовые россыпи ежегодно восстанавливаются.

В настоящее время, кроме россыпей руслового аллювия, в долине р. Мадре-де-Диос ведется отработка пойменных и террасовых россыпей. Многие россыпи низкой поймы (высота берегового уступа 2–4 м) уже отработаны, поскольку находились вблизи русла реки и проблема воды, необходимой для промывки песков, легко решалась.



Рис. 6. Разработка косовой россыпи

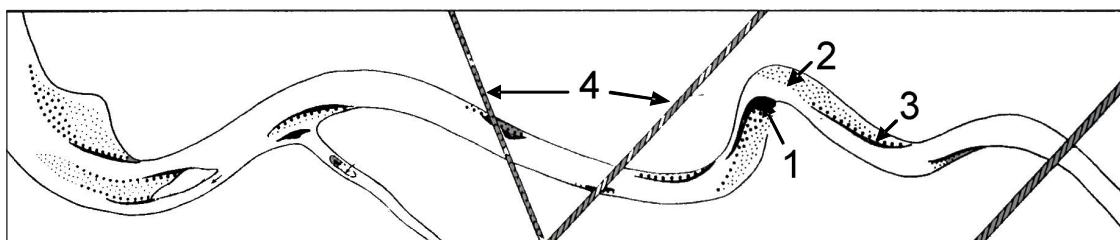


Рис. 7. Формирование россыпей золота в структурах «point bars» или «corridos» р. Мадре-де-Диос [6]:

1 — участки формирования золотоносных россыпей; 2 — кварцевые пески; 3 — участки накопления тяжелых минералов; 4 — выходы коренных пород поперек русла реки

Высокая пойма (высота уступа 6–8 м) имеет ширину несколько километров. В пределах ее отмечаются старицы, которые в настоящее время перекрыты мощным чехлом болотно-озерных отложений (до 6 м и более). К старицам, на бывших участках меандрирования реки, приурочены «палеокосовые» россыпи.

В различных публикациях, посвященных золотодобывающей промышленности Перу [6], приводятся данные по характеристике меандров, связи с ними золотоносных отложений и параметры россыпей, которые формируются в структурах «point bars» или «corridos» (полумесяц) (рис. 7). Морфология россыпей — линзы дугообразной и серповидной формы. Наиболее обогащены золотом головные части «палеокос». Параметры обрабатываемых «палеокосовых» россыпей: длина 200–300 м,

ширина 8–20 м, мощность золотоносного пласта 1,5–2,5 м, мощность торфов 2–6 м, содержание Au в них более высокое по сравнению с современными косовыми россыпями — от 0,3–0,4 до 0,8–1 г/м³, редко более. Бортовое содержание металла, по данным местных старателей, 200 мг/м³. Отоработка песков с более низкими содержаниями нерентабельна. Запасы металла 4–8 кг, реже 10–15 кг и более. Частота встречаемости участков с суммарными запасами металла 30–40 кг — два–три на 1 км².

Продуктивные пески представлены песчано-гравийно-галечным материалом. Массовая доля валунов (>200 мм) не превышает 1–2%, эфельного материала (<10 мм) около 60%. Глинистая фракция отсутствует. Литологические границы золотоносных песков часто не выражены и определяются только по содержанию золота. В целом пески легкопромывистые.

Методика поисков россыпей у владельцев концессий следующая. По профилям (через 150–300 м), предварительно прорубленным в сельве, рабочие через определенные интервалы забивают в грунт металлический щуп длиной до 5 м для установления мощности торфов и уровня грунтовых вод. Торфа в районе представлены суглинками от темно-серого до светло-бурого цветов нередко с линзами супесей. На участках с наименьшей мощностью торфов проводятся шурфы, как правило, до уровня воды. При обнаружении галечников с содержаниями Au



Рис. 8. Старательский карьер на террасе:

1 — сельва; 2 — «торфа»; 3 — «пески»; 4 — гидромонитор; 5 — землесос; 6 — «чутэ»

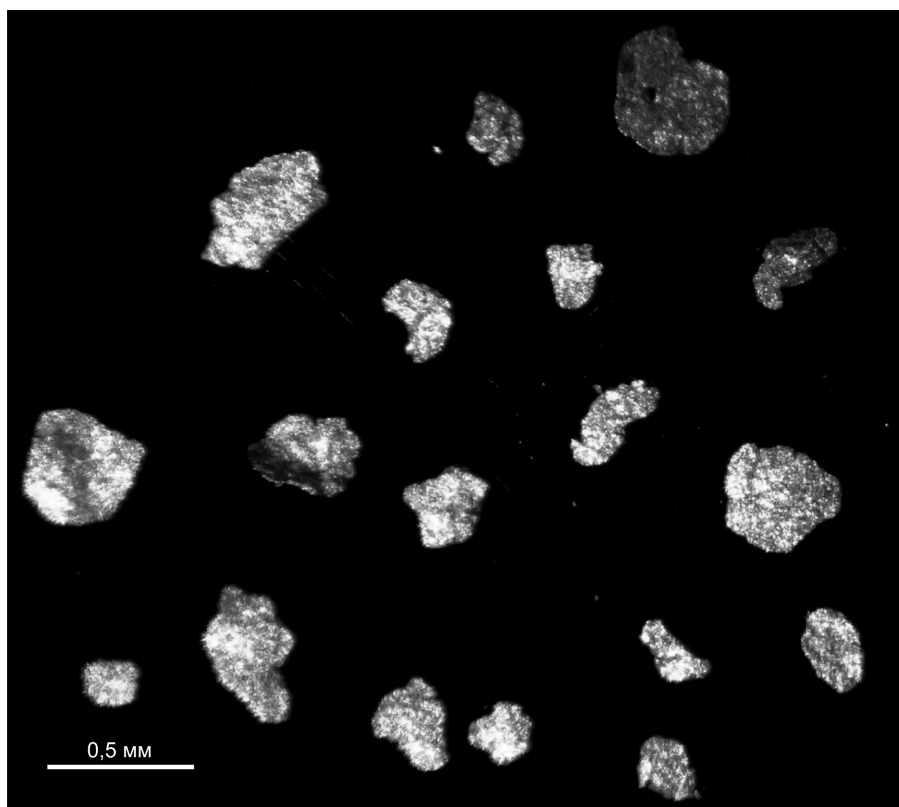


Рис. 9. Золото Мадре-де-Диос

150–200 мг/м³ в сельве прорубается тропа к месту отработки, ставится землесосная установка и с использованием средств малой механизации начинается добыча золота (рис. 8). Суточная добыча его здесь составляет десятки граммов на участок.

Поиски и разработка таких россыпей связаны со значительными трудностями, поскольку террасы и пойма р. Мадре-де-Диос, покрытые труднопроходимой сельвой, а старицы, перекрытые озерно-болотными отложениями, слабо изучены. Очевидна нецелесообразность поисков и промышленного освоения данных объектов. Рентабельная отработка россыпей возможна только местными старателями, которые берут наиболее богатые участки.

Золото россыпей Мадре-де-Диос представлено очень тонкими, листоватыми ксеноморфными зер-

нами трещинного и смешанного типов. Отмечаются единичные зерна с фрагментами граней пластинчатых гексагональных кристаллов. Металл данной размерности и формы практически не окатывается в процессе транспортировки. Только при неоднократном переотложении в течение нескольких эрозионных циклов золотины этого типа приобретают округлые формы. Зерна в плане имеют изометричную или слабовытянутую форму с неровными, реже гладкими краями. Некоторые чешуйки деформированы — изогнуты, иногда сложены вдвое. Отдельные зерна несут следы расклепывания с формированием фрагментов низких валиков по краям. Поверхность золотинок шагреновая (рис. 9). На единичных крупных золотинок наблюдаются фрагменты тонкой бурой рубашки (гидроксиды железа).

2. Карточка ситового анализа золота Мадре-де-Диос

Показатели	Фракции, мм						Всего
	-0,071	0,071–0,125	0,125–0,2	0,2–0,315	0,315–0,5	+0,5	
Число зерен, шт.	1	13	89	78	7	-	476
Выход металла, %	0,03	4,02	25,65	53,71	16,59	-	100
Средняя крупность, мм							0,22
Средняя толщина зерна, мм							0,03

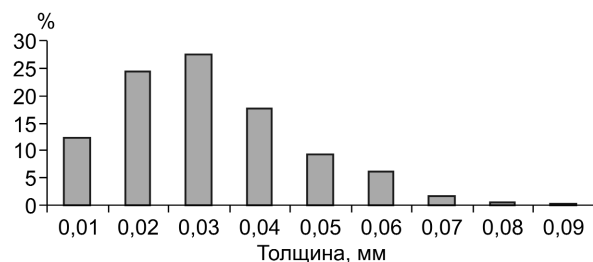


Рис. 10. Частотное распределение толщины золотин Мадре-де-Диос

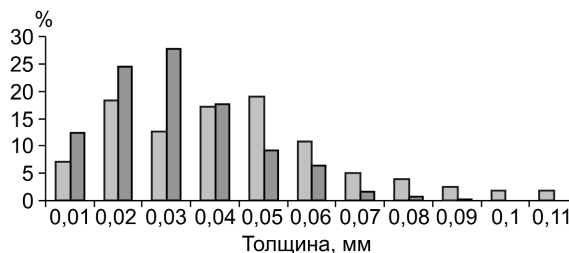


Рис. 11. Сопоставление толщины золотин россыпей Вайпету-Кайчиве и Мадре-де-Диос

Цвет металла однородный желтый. Максимальный размер золотин не более $0,65 \times 0,38 \times 0,08$ мм, средний 0,23 мм (табл. 2). Зерна тонкопластинчатые, 82% из них имеют толщину не более 0,04 мм (рис. 10). При этом толщина зерен почти не зависит от их линейных параметров.

Сравнивая золото россыпей Вайпету-Кайчиве и Мадре-де-Диос, можно сделать следующие выводы.

Золото россыпей Мадре-де-Диос типично косовое дальнего сноса, обычно образует локальные концентрации в головках русловых кос и не формирует приплотиковых россыпей из-за своей малой массы и высокой подвижности.

Металл участка Вайпету-Кайчиве также можно отнести к транзитному золоту. Более изометричная форма его частиц объясняется меньшим расстоянием до источника сноса (рис. 11).

Закономерное уменьшение средней крупности и морфология золотин вниз по течению рек позволяет предположить, что одним из источников металла для россыпей рек Инамбари, Колорадо и Мадре-де-Диос служат отложения палеодолин Вайпету-Кайчиве.

Приведенный фактический материал показывает, что в районе Мадре-де-Диос широко развиты аллювиальные россыпи разных морфологических типов: террасовые, русловые, косовые и «палеокосовые». Существенного промышленного значения они не имеют, за исключением русловых россыпей. Отработка дражными полигонами русла р. Мадре-де-Диос может быть рентабельна, но отсутствуют свободные площади — вся территория занята старательскими концессиями.

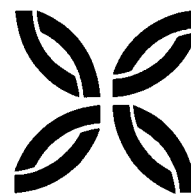
Учитывая класс золота и особенно толщину золотин (30 мкм), трудно предположить возможность формирования приплотиковых (автохтонных) россыпей.

Все расчеты по добыче «палеокосового» золота на террасах низкой и высокой пойм р. Мадре-де-Диос указывают на то, что применение тяжелой техники для проведения вскрышных работ нерентабельно. Только работа кустарными методами на обогащенных участках, которую проводят местные «минеро», дает наибольший экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* разведки россыпей золота и платиноидов. — М.: ЦНИГРИ, 1992.
2. *Билибин Ю.А.* Основы геологии россыпей— М.: Изд-во АН СССР, 1955.
3. *Подъяконов.* Намывные россыпи как новый источник получения золота и платины // Советская промышленность. 1932. № 3–4.
4. *Шило Н.А.* Основы учения о россыпях. — М.: Недра, 1985.
5. *Eloy Viktor Guttererres Tineo.* Minera aurifera en la cuenca de los Rios Madre De Dios E Inambari, sus problemas y alternativas // II simposium nacional de mineria aurifera, del 07 al 12 de diciembre 1992, Cerro de Pasco — Peru. P. 139–146.
6. *Geologia de Los Guadrangulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quinsemil, Masuco, Astillero y Tambopata* // Bul. 81, Ingemmet, Lima, Peru, 1996.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



7 декабря 2010 г. исполнилось 75 лет **Александру Николаевичу Барышеву** — академику РАН, доктору геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику отдела металлогении и прогноза месторождений цветных и благородных металлов.

А.Н.Барышев работает в ЦНИГРИ с 1959 г. Его научные разработки по формационному анализу, структурной геологии, палеовулканическим реконструкциям, закономерностям размещения рудных полей и месторождений опираются на большой опыт полевых исследований колчеданно-полиметаллических месторождений России и зарубежных стран. А.Н.Барышев внес существенный вклад в проблему генезиса рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений, обосновав их принадлежность к вулканогенным рудообразующим комплексам. Используя совокупность тектонического, структурного, палеовулканического, металлогенического и тектонофизического анализов, расшифровал природу магматогенно-рудных узлов, выявил закономерности их развития, показал связь системы металлогенических подразделений с глубинными поднятиями разных слоев Земли. Им теоретически обоснована и на реальных примерах продемонстрирована периодичность повторения в пространстве геодинамических и металлогенических систем. На основе тектонофизического анализа во фрактальной структуре геодинамических и металлогенических систем спрогнозировано положение крупных и очень крупных месторождений.

В 2005 г. в рамках государственного контракта по созданию и поставке научно-технической продукции для федеральных нужд А.Н.Барышевым создана серия методических рекомендаций по изучению минералогических ресурсов перспективных геодинамических и металлогенических объектов, направленных на исключение из планов ГРП бесперспективных площадей и сокращение затрат при проведении поисковых работ за счет средств федерального бюджета.

А.Н.Барышев — член редколлегии журнала «Отечественная геология», автор более 120 научных работ, в том числе двух монографий. За трудовые успехи награжден медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», знаком «300 лет горно-геологической службе России».

Поздравляем Александра Николаевича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.



*Редколлегия журнала
Ученый совет ЦНИГРИ*

7 декабря 2010 г. исполнилось 70 лет **Раисе Викторовне Добровольской** — заместителю главного редактора журнала «Отечественная геология».

Р.В.Добровольская с 1966 по 1991 гг. работала в государственном издательстве «Недра». Ею отредактировано более 500 книг по самым разнообразным направлениям геологических наук.

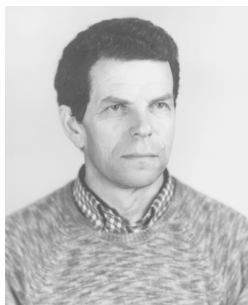
Деятельность Р.В.Добровольской с 1991 г. на посту заместителя главного редактора журнала «Отечественная геология» способствует росту престижа журнала, как в нашей стране, так и за рубежом, укреплению связей между геологами СНГ, демонстрации достижений отечественной геологической науки, а также распространению информации о минерально-сырьевых ресурсах отдельных регионов страны. Авторы многих сотен статей признательны Раисе Викторовне за то, что благодаря ее редакторским стараниям их работы стали достоянием геологической общественности.

За добросовестный труд она награждена медалью «Ветеран труда» и отраслевыми грамотами Министерства печати СССР, Минприроды России, ЦНИГРИ.

Поздравляем Раису Викторовну с юбилеем, желаем ей доброго здоровья и успехов в работе.



*Редколлегия журнала
Дирекция ЦНИГРИ*



30 ноября 2010 г. исполнилось 80 лет старшему научному сотруднику отдела геологии, методов поисков и экономики месторождений благородных металлов, доктору геолого-минералогических наук **Александру Александровичу Константиновскому**.

А.А.Константиновский начал свою трудовую деятельность в 1956 г. в Средней Азии. С 1958 по 1972 гг. работал в экспедициях Всесоюзного аэрогеологического треста. Участвовал в среднемасштабной геологической съемке в Южном Верхоянье, Приколымье, на хребтах Джугджур и Черского, является соавтором трех изданных листов м-ба 1:200 000. Внес существенный вклад в разработку стратиграфии и тектоники этих труднодоступных районов. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию по тектонике Южного Верхоянья.

В ЦНИГРИ работает с 1972 г. На территории Беломорья А.А.Константиновский установил связь проявлений щелочно-ультраосновного магматизма с погрбенным Онежско-Кандалакшским авлакогеном-палеорифтом и на этой основе положительно оценил перспективы обнаружения алмазоносных кимберлитов, что было позднее подтверждено открытием трубок Зимнебережного района. Им оценены перспективы алмазоносности и золотонности докембрийских и фанерозойских конгломератосодержащих формаций на территории бывшего СССР, выделены перспективные районы в Сибири, на Урале и Тимане. В последующие годы в конгломератах алмазоносных полей Якутии, Среднего Тимана были открыты высококачественные алмазы, золото и редкие металлы. В 1991 г. А.А.Константиновский защитил докторскую диссертацию по геолого-генетическим основам прогноза и поисков месторождений алмазов и золота в древних конгломератах на территории бывшего СССР. Им лично и в соавторстве опубликовано более 70 научных работ. В 2000 г. издана монография «Палеороссыпи в эволюции осадочной оболочки континентов».

А.А.Константиновский активно пропагандирует достижения отечественной геологии, романтику геологических поисков и съемки в научно-популярных изданиях. За плодотворную работу награжден медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», знаками «Отличник разведки недр», «300 лет горно-геологической службе России», отраслевыми грамотами.

Поздравляем Александра Александровича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, неиссякаемой энергии в творческой деятельности.

*Редколлегия журнала
Ученый совет ЦНИГРИ*



6 декабря 2010 г. исполнилось 75 лет старшему научному сотруднику отдела конъюнктуры минерального сырья **Ларисе Филипповне Мызенковой**.

Л.Ф.Мызенкова — специалист высокой квалификации в области исследования мировой конъюнктуры минерального сырья, мониторинга и системного анализа минерально-сырьевой базы, хороший организатор научно-исследовательских работ. Стаж ее научной и производственной деятельности более 50 лет.

Многолетний опыт работы в смежных областях, широкий кругозор и высокий профессионализм позволили Л.Ф.Мызенковой выполнять исследования по оценке возможностей освоения ресурсов Мирового океана, анализировать и обобщать зарубежные технические достижения как в масштабе государств, так и различных горнорудных компаний для выбора перспективных направлений аналогичных отечественных разработок. В период реформирования отечественного недропользования большое значение для выработки минерально-сырьевой стратегии имели ее аналитические обзоры с оценкой мировой минерально-сырьевой базы драгоценных и цветных металлов.

Л.Ф.Мызенковой лично и в соавторстве подготовлено более 70 научных работ, в том числе несколько монографий. Она имеет четыре авторских свидетельства. Неоднократно поощрялась отраслевыми грамотами, награждена знаками «Отличник разведки недр», «300 лет горно-геологической службе России».

Поздравляем Ларису Филипповну с юбилеем, желаем здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

*Редколлегия журнала
Ученый совет ЦНИГРИ*

СПИСОК СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РУДЫ И МЕТАЛЛЫ» В 2010 ГОДУ

Официальные материалы

Президиум правительства РФ одобрил стратегию развития ГРР до 2030 г. № 4. С. 5

В.Путин назвал среди приоритетов развитие ГРР. № 4. С. 5

Стратегия развития ГРР до 2030 г. разграничивает вклад государства и бизнеса. № 4. С. 6

Семидесятилетие Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ)

Арифулов Ч.Х. Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел. № 1. С. 10

Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф. Мировые тенденции развития геологоразведочных работ на цветные и благородные металлы. № 1. С. 22

Галямев А.Л. Золотоносные осадочные комплексы складчатого обрамления Сибирской платформы. № 1. С. 28

Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Голубева Ю.Ю. Кемпинские кимберлиты, Архангельская область. № 1. С. 38

Граханов С.А., Сулейманов А.М., Голубев Ю.К. Пирокласты северо-востока Сибирской платформы как источник россыпных алмазов. № 1. С. 45

Звездов В.С., Минина О.В. Рудно-магматические системы вулканоплутонических поясов Востока России. № 1. С. 48

Иванов А.И. Латерально-вертикальная рудно-металлогеническая зональность как основа районирования Байкало-Патомской рудной провинции. № 1. С. 60

Кривцов А.И. Методические основы прогнозно-металлогенических построений. № 1. С. 69

Кряжев С.Г. Минералого-геохимические методы поисков стратойдных золоторудных месторождений. № 1. С. 74

Ручкин Г.В., Конкин В.Д. Свинцово-цинковые месторождения Востока России. № 1. С. 82

Седельникова Г.В., Романчук А.И. Инновационные технологии обогащения руд благородных и цветных металлов. № 1. С. 92

Седельникова Г.В., Мандругин А.В. Новые методы и методики анализа минерального сырья благородных металлов. № 1. С. 100

Углов Б.Д. Геология и металлогения Мирового океана — вклад ЦНИГРИ. № 1. С. 104

Недропользование

Кривцов А.И. Основные показатели предкризисного мирового минерально-сырьевого обеспечения. № 6. С. 5

Прикладная металлогения

Агибалов О.А. Экзогенная золотоносность чехла центральной части Русской платформы — постановка проблемы. № 2. С. 31

Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф. Региональное количественное прогнозирование перспективных на эндогенное оруденение площадей на основе анализа физических полей в пределах юга Дальнего Востока России. № 6. С. 10

Копылов М.И. Прогнозно-поисковые признаки и критерии титановых и медно-никелевых месторождений в пределах Дальневосточного габбро-анортозитового пояса. № 2. С. 17

Склярова Г.Ф. Эволюция экзогенного рудообразования на территории Дальнего Востока России. № 5. С. 5

Труфанов В.Н., Шарова Т.В., Труфанов А.В. Золотоносные пегматиты габбро-норитовых комплексов Центрального Алдана. № 2. С. 25

Шкодзинский В.С. Происхождение рудоносных гидротерм в кислых магмах. № 4. С. 7

Эйриш Л.В. К перспективам выявления крупных золоторудных месторождений в складчатых комплексах и структурах активизации Приамурья и Приморья. № 2. С. 5

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

Ваганов В.И., Дорофеев С.А., Колесникова Т.И., Щербакова Т.Е. Минералогические предпосылки

- алмазности европейской части России. № 3. С. 4
- Громцев К.В.* Оценка перспектив алмазности Куусамо-Костомукшской площади по данным дистанционного зондирования. № 6. С. 37
- Колоскова С.М., Исоков М.У., Зималина В.Я., Туробов И.Ш.* Структурные условия локализации и параметрическая характеристика изменчивости промышленной золоторудной минерализации на месторождения Гужумсай, Узбекистан. № 5. С. 10
- Кряжев С.Г.* Современные проблемы теории и практики термобарогеохимии. № 2. С. 38
- Лоскутов И.Ю., Асосков В.М.* Оценка потенциальной хромитности Шаманского гипербазитового массива. № 6. С. 32
- Мишин Л.Ф., Бердников Н.В.* Индикаторная роль высокоглиноземистых вторичных кварцитов при поисках рудных месторождений. № 3. С. 14
- Остапенко Л.А.* Принципы прогноза технологических свойств окисленных серебряных руд по данным изучения вещественного состава. № 6. С. 22
- Хачатрян Г.К.* Типизация алмазов из кимберлитов и лампроитов по распределению азотных центров в кристаллах. № 2. С. 46
- Чекваидзе В.Б., Милев С.А., Исакович И.З.* Породно-минерально-элементные аномалии на золоторудных полях и их прогнозно-поисковая интерпретация. № 2. С. 61
- Черненко М.Ю.* Геохимическая специализация эффузивных и субвулканических комплексов Оренбургского Урала и их металлогеническое значение. № 5. С. 17
- Строение рудных месторождений**
- Арсентьева И.В.* Месторождения гидротермально-осадочных золото-сульфидных руд в нижнекаменноугольных черносланцевых отложениях Восточного Оренбуржья. № 5. С. 40
- Баранников А.Г., Волькинштейн М.Я., Субботин И.А., Балахонов В.С.* Золотоносные коры выветривания Крылатовско-Чесноковского рудного поля, Средний Урал. № 3. С. 43
- Вахрушев А.М.* Компьютерные модели обособления рудных масс при субгоризонтальном движении сульфидно-силикатных расплавов. № 6. С. 58
- Двуреченская С.С.* Новые данные о самородном золоте и составе рудных минералов Синюхинского золото-скарнового месторождения. № 5. С. 54
- Коньшев В.О.* О составе самородного золота в минеральных ассоциациях золоторудных месторождений Алтае-Саянской области. № 6. С. 42
- Кошкарёв Д.А., Егоров К.Н., Карпенко М.А., Маковчук И.В.* Основные параметры алмазности геолого-технологических типов кимберлитовых руд трубки Юбилейная, Якутия. № 4. С. 27
- Остапенко Л.А.* Типоморфизм самородного золота на месторождениях золото-кварцевой формации Центральной Колымы. № 3. С. 25
- Остапенко Л.А., Двуреченская С.С., Рыжов О.Б.* Природные типы серебряных руд и критерии их выделения на месторождениях с развитой зоной окисления. № 5. С. 23
- Позднякова Н.Н.* Типоморфизм золота россыпей Шахтаминского рудного района, Восточное Забайкалье. № 4. С. 20
- Реут И.Л.* Золотоносность вулканогенных и интрузивных комплексов Вознесенско-Присакмарской структурно-формационной зоны Южного Урала и перспективы их рудоносности. № 5. С. 33
- Сначев А.В., Савельев Д.Е., Сначев В.И.* Палладий-золото-редкометалльная геохимическая ассоциация в углеродистых сланцах зигазино-комаровской свиты, Южный Урал. № 4. С. 11
- Шамцян Ф.Г.* Геолого-структурные особенности Дилижанского месторождения меди в Республике Армения и перспективы его золотоносности. № 3. С. 39
- Комплексное использование минерального сырья**
- Заулочный П.А.* Эффективная двухстадийная технология бактериального окисления упорного золото-сульфидного сырья. № 4. С. 45
- Остапенко Н.С., Нерода О.Н., Миронюк А.Ф.* Возможные пути использования техногенных россыпей золота Приамурья. № 4. С. 35
- Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ**
- Шановалов В.С., Приставко В.А.* Некоторые геостатистические особенности оценки техногенных россыпей золота Колымы. № 5. С. 73
- Хачатрян Г.К., Кряжев С.Г.* Методика анализа породообразующих и аксессуарных минералов рудных месторождений с использованием ИК-Фурье микроскопа. № 5. С. 64

Зарубежный опыт

Сорокин А.Б. Оригинальный способ обработки россыпей в Перу. № 4. С. 68

Сорокин А.Б., Мешалкин С.М., Хотылев О.В. Эксплуатация косовых россыпей в районе Мадре-де-Диос, Перу. № 6. С. 67

Страницы истории

Арифулов Ч.Х. Золотоносность Кызылкумов — вклад ЦНИГРИ. № 1. С. 124

Вартамян С.С., Волчков А.Г., Кочнев-Первухов В.И., Новиков В.П. ЦНИГРИ на Аляске. № 1. С. 118

Дискуссии

Вихтер Б.Я. Типизация золоторудных месторождений для прогноза, поиска и оценки. № 4. С. 49

Каменихин Н.Т. Метод разбраковки геохимических и гидротермальных аномалий на ранних стадиях исследования. № 3. С. 66

Константинов М.М., Косовец Т.Н. Характер эволюции изотопного состава сульфидной серы золото-серебряных месторождений. № 3. С. 52

Лихачев А.П., Ручкин Г.В. Использование геофизических данных для прогнозно-металлогенического районирования, на примере Северного Урала. № 4. С. 56

Подгаецкий А.В., Бунин И.Ж., Эпштейн С.А. Криогенно-электроимпульсная активация каменных углей. № 2. С. 69

Степанов В.А. Существуют ли ураганные концентрации золота в угольных месторождениях Верхнего Приамурья и Сибири? № 2. С. 66

Поздравляем с юбилеем

Э.М.Денисову, О.В.Минину, А.Н.Некрасову, А.И.Никулина, В.И.Романова, А.И.Романчука, Г.В.Ручкина (№ 2), А.М.Гаврилова (№ 3), Г.М.Гейшерики, И.Н.Кочерова, А.Ф.Морозова, И.Я.Полывянного (№ 4), А.Н.Барышева, Р.В.Добровольскую, А.А.Константиновского, Л.Ф.Мызенкову (№ 6)

Поздравляем И.Ф.Мигачева с правительственной наградой. № 4. 2-я стр. обложки

Рецензии

Константинов М.М.
Золото недр Казахстана. № 6. С. 65

Памяти

В.М.Яновского. № 2. С. 65, С.Ф.Стружкова № 3. С. 86, Р.А.Эйдлина. № 3. С. 88, А.И.Кривцова. № 5. С. 77, Ю.Ю.Воробьева. № 5. С. 80, В.Н.Новикова. № 5. С. 81, А.Д.Петровского. № 5. С. 82

Список статей, опубликованных в журнале «Руды и металлы» в 2010 году. № 6. С. 77

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Журнал «Руды и металлы» основан в декабре 1992 г. для оперативного распространения информации и создания информационной базы по фундаментальным разработкам в области рудных месторождений, их геологического строения и минерально-сырьевых ресурсов, методикам и прогрессивным технологиям, экономике всех видов геологоразведочных работ, по республиканской, межреспубликанской и мировой конъюнктуре рудного минерального сырья, научно-техническим достижениям, информатике и маркетингу.

Учредитель — Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, при участии Международной академии минеральных ресурсов, Фонда им. академика В.И.Смирнова. Журнал печатается в типографии ЦНИГРИ.

Подписка на 2011 г. производится через Роспечать, индекс по каталогу 47 218. За наличный расчет журнал можно приобрести в редакции.

Периодичность — 6 номеров в год. Цена подписки на год 600 руб. без НДС.

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корпус 1.

Факс (095) 315-43-47.

E-mail tsnigri@tsnigri.ru для журнала «Руды и металлы».

Контактный телефон 315-28-47.