

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

1/2012

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 2012

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

Сдано в набор 25.01.12 г.
Подписано в печать 04.02.12 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», 2012

Прикладная металлогения*Эйриш Л.В.*

Закономерности локализации и принципы прогнозирования золоторудных месторождений на Дальнем Востоке России

5

Кулешевич Л.В., Голубев А.И.

Благородные металлы в щелочных метасоматитах Средней Падмы, Карелия

17

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений*Константинов М.М., Косовец Т.Н., Наталенко М.В., Орлова Г.Ю.*

Поисково-оценочная система ГЕНОМ: содержание и перспективы

26

Строение рудных месторождений*Гусев А.И., Гусев Н.И.*

Полихронное комплексное Cu-Bi-Co-Ni-W месторождение Каракуль Горного Алтая

33

Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д., Шмонов А.М., Фомин А.А., Ким В.

Складчатые и разрывные деформации во вмещающих и перекрывающих толщах в карьере кимберлитовой трубки Архангельская

42

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ*Мухтар А.А., Каткеева Г.Л., Требухова Т.А., Коцегина Е.В., Халикова З.С.*

Применение метода математического планирования для выбора режимов восстановительного обжига бурожелезнякового концентрата Лисковского месторождения в целях его последующего обогащения методом магнитной сепарации

49

Applied metallogeny*Eirish L.V.*

Statutes lokation and principles prognosis gold deposits on Far East Russia

Kuleshevich L.V., Golubev A.I.

Nobel metals in alkaline metasomatites at Srednyia Padma, Karelia

Exploration: Techniques and methods*Konstantinov M.M., Kosovets T.N., Natalenko M.V., Orlova G.U.*

Prospecting-evaluation system — GENOM: its principals and future

Anatomy of ore deposits*Gusev A.I., Gusev N.I.*

Polychronic complex Cu-Bi-Co-Ni-W deposit Karakul of the Mountain Altai

Ignatov P.A., Bolonin A.V., Vasilyev I.V., Shmonov A.M., Fomin A.A., Kim V.

Folded and ruptural deformations in the bearing and capping rock stratas of kimberlite in the pit of Arkhangelsk pipe

Mining and exploration techniques and technologies*Mukhtar A.A., Katkeeva G.L., Trebukhova T.A., Kochevina E.V., Khalikova Z.S.*

Application of the method of mathematical planning to select modes of reducing roasting of a brown iron concentrate from the Lisakovsk deposit with the view of its further concentration by the magnet separation method

Дискуссии*Силин И.И.*

Геолого-промышленная оценка минеральных ресурсов на стадии поисков

53

Милецкий Б.Е., Шелудяков Ю.Л.

О предполагаемом открытии первого благороднометального рудопроявления в соляной толще Прикаспийской впадины

62

Поздравляем с юбилеемИ.М.Витковского, А.Г.Волчкова, В.Л.Лося,
В.А.Нарсеева, С.В.Яблокову

66

Discussions*Silin I.I.*

Geological-and-economic evaluation of mineral resources at an exploration stage

Miletsky B.E., Sheludyakov Y.L.

Discovery of first noble metals mineralization of salt mass of Caspian depression

Our congratulations

I.M.Vitkovsky, A.G.Volchkov, V.L.Los, V.A.Nar-seyev, S.V.Yablokova



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Л.В.Эйриш (Институт геологии и природопользования АмурНЦ ДВО РАН)

Выделены основные факторы локализации золотого оруденения в складчатых комплексах и структурах тектономагматической активизации. Это тектонические поднятия, куполовидные и линейные антиклинали, минерализованные зоны крупных разломов, взаимодействие структур разуплотнения (гранитизации) с фемическими и углеродистыми субстратами, положение участка в структуре рудно-магматической зональности, геологические экраны и рудовмещающие штоки диоритоидов. Отмечены факторы деструкции оруденения, предложены принципы прогнозирования золоторудных структур.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, геологические экраны, рудоносные структуры, гравитационные минимумы.

Эйриш Леонид Владимирович, ems@igd.khv.ru

STATUTES LOKATION AND PRINCIPLES PROGNOSIS GOLD DEPOSITS ON FAR EAST RUSSIA

L.V.Eirish

To share out gold-bearing structural higt, mineralization big fractures, gravity minimums, carbonization breeds, bride cake, zonality ores and magma chamber; geologist's screens, auriferous stocks dioritoids. To mark factors destructin gold deposits. Propse principles prognosis gold-bearing structurals.

Key words: gold deposits, geologist's screen, ore chute gravity minimums.

Анализ материалов по золотоносности Дальнего Востока позволил выделить ряд факторов, контролирующих генерацию, перенос и локализацию золотого оруденения, а также его деструкцию, прямо или косвенно влияющих на качество прогнозирования [2, 5, 10, 12, 14, 16]. Факторы генерации рассмотрены ранее [15]. Напомним, что на Дальнем Востоке к ним отнесены глубинные субстраты пород, изначально обогащенные золотом [2], которое в условиях метаморфизма, магматизма и гидротермальной деятельности может быть мобилизовано, перенесено и сконцентрировано в благоприятных для этого структурах. Это могут быть крупные объемы базитов и ультрабазитов или углеродистых сланцевых толщ [1, 7, 15], орогенные складчатые структуры с зональным метаморфизмом. Выявление большинства таких структур возможно геофизическими методами. Магнитометрические аномалии указывают на присутствие на глубине фемических масс, а гравиметрические минимумы фиксируют области глубинного разуплотнения (гранитизации) фемического субстрата. Наиболее продуктивны области глубинного сопряжения фемического (или черносланцевого) субстрата с гравитационными минимумами.

Структуры переноса — это региональные и локальные зоны разломов и трещинные системы,

возникающие в процессе орогенеза в складчатых структурах и более контрастно в структурах тектономагматической активизации (ТМА). Например, зона Станового разлома, которая контролируется в пределах Амурской области непрерывной цепочкой геохимических аномалий золота на протяжении более 800 км. Здесь же наблюдаются золотоносные структуры и иных направлений. Эти данные свидетельствуют о том, что просачивание гидротермальных растворов в зонах крупных разломов — явление региональное и охватывает гигантские объемы орогенных структур — складчатых и ТМА. Конечно, перенос золотоносных флюидов происходит и магматическими интрузиями из областей глубинного разуплотнения — гранитоидами повышенной основности, диоритоидами, монцититоидами (раннеорогенный этап), формирующими штоки, массивы, их купола и апофизы в малоглубинных, гипабиссальных (и субвулканических) условиях. Глубинные гидротермальные флюиды магматогенного и метаморфогенного генезиса, несомненно, подпитываются элизионными водами [5] осадочных прогибов, окаймляющих ороген и использующих пористость слоистых пород (песчаники, гравелиты и др.) в период, предшествующий их литификации.

Максимальный практический интерес представляют структуры локализации золотого оруде-

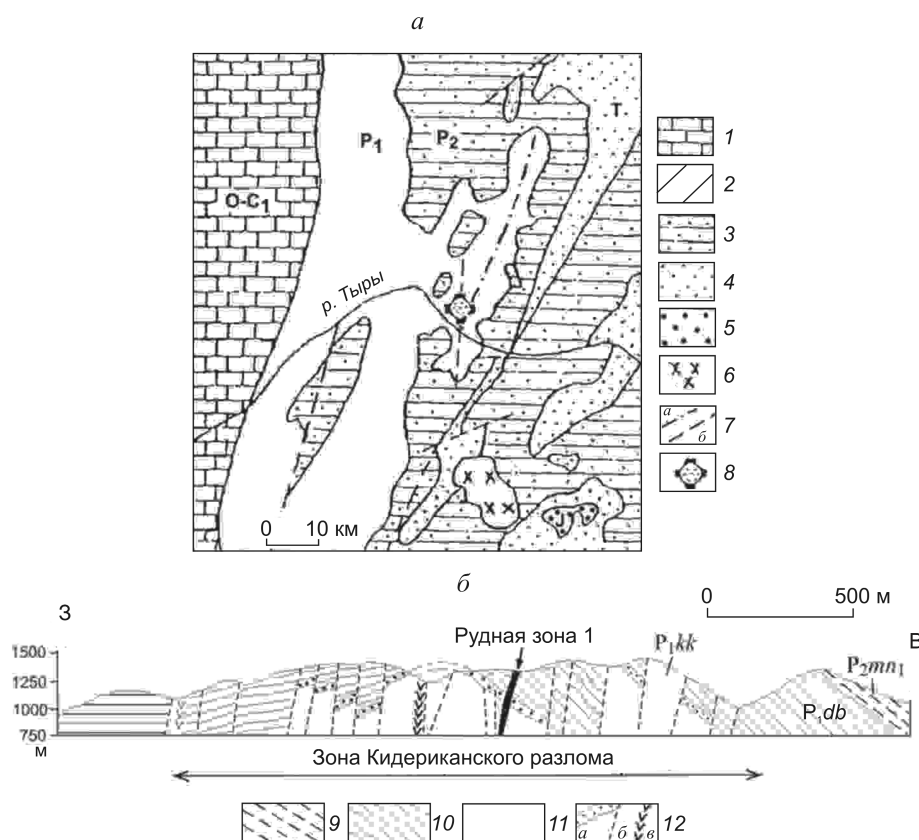


Рис. 1. Геологическая карта района Нежданнинского месторождения (а), разрез через центральную часть рудного поля (б), по М.К.Силичеву, Н.В.Белозерцевой:

1 — карбонатные отложения, О-С₁; 2 — алевриты, глинистые сланцы, P₁; 3 — песчано-глинистые породы, P₃; 4 — песчаники, гравелиты, Т; 5 — песчано-конгломератные породы, J; 6 — гранодиориты, K₂; 7 — ось Дыбинской антиклинали (а), разломы (б); 8 — Нежданнинское золоторудное месторождение; нижнепермские отложения: 9 — песчано-глинистые породы менкеченской свиты, 10 — черные углисто-глинистые сланцы с конкрециями марказита, алевриты дыбинской свиты, 11 — черные известковые алевриты с конкрециями марказита кукканской свиты; 12 — маркирующий пласт (4 м) серых мелкозернистых песчаников (а), разломы (б), дайки порфиринов и лампрофиров (в)

нения. Они разнообразны. Их морфология и продуктивность зависят от многих факторов: наличия или отсутствия геологических и физико-химических экранов, проницаемости, сплошности или нарушенности вмещающих пород, условий кумуляции или рассредоточения гидротермального потока на подступах к возможной рудовмещающей структуре, тектонического образа последней (синклиналь, антиклиналь и проч.), показателей давления и температуры рудоносного флюида, положения и глубины палеоповерхности возможных продуктивных интрузивных тел, которые определяются геофизическими методами. Важно знать и местоположение исследуемого участка в структуре региональной рудно-магматической зональности. При этом следует выделить локальные гравитационные минимумы, интерпретируемые как гранитоидные купола — возможные вместилища рудо-

носных структур. В складчатых толщах и активизированных чехлах платформ желательнее выделять так называемые рудолокализирующие комплексы, представляющие собой триады из геологического экрана, флюидопроводящей толщи и пограничной рудовмещающей зоны. При этом наиболее масштабными (и продуктивными) в складчатых комплексах оказываются структуры с мощными геологическими экранами в разрезах слабо метаморфизованных слоистых вмещающих пород, а в активизированных чехлах плитных комплексов положительное значение имеет физико-химическая контрастность пород основания и экрана. Именно в зоне их контакта происходят резкие изменения во флюиде давления и температуры и как следствие — осаждение золотоносного минерального груза, чему способствует углеродистость вмещающих толщ.

В неглубоко эродированных структурах ТМА и в складчатых комплексах золотоносными часто оказываются гранитоидные (чаще диоритоидные) купола и штоки, иногда дайки, венчающие более глубоко залегающие рудогенерирующие и флюидопроводящие гранитоидные массы, фиксирующиеся на поверхности крупными минимумами силы тяжести. Такие штоки и купола представляют собой конечные пункты транспорта рудоносных флюидов с рудными телами в виде многочисленных золото-кварцевых жил, зон золотоносных тектонитов и метасоматитов. Золотоносны и околорудные породы. Их эрозия и размыв способствовали формированию (особенно в структурах ТМА) крупных богатых россыпей золота.

Таковы в общих чертах особенности развития золоторудных систем в складчатых комплексах и структурах ТМА (автономная активизация [11]) золотоносных провинций российского Дальнего Востока — Амурская область, Хабаровский и Приморский края, частично Юго-Восточная Якутия). Рассмотрим факторы локализации оруденения в золоторудных районах и рудных полях.

Раннеорогенные тектонические структуры положительного изгиба — сводовые поднятия, антиклинали, часто куполовидные, образованные в геосинклинальных и наложенных (в структурах ТМА) складчатых комплексах над очагами глубинного разуплотнения, обусловленного гранитообразованием [5, 12–14]. Пример — крупное Нежданинское месторождение [5], расположенное на севере Аллах-Юньской золотоносной зоны в осевой части Дыбинской антиклинали (рис. 1), образованной нижнепермскими терригенными толщами. Нижняя толща мощностью 500 м вмещает основные рудоносные зоны (кукканская свита) и сложена черными известковыми алевролитами. Верхняя такого же состава содержит пачку (60–70 м) песчанистых пород в основании и пласты (4 м) мелкозернистых песчаников в кровле, насыщенные лестничными жилами кварца. Отложения свиты перекрыты черными углисто-глинистыми сланцами (дыбинская свита мощностью 800 м). Все породы содержат вкрапленность марказита. Углы падения пластов в восточном крыле 40–50°, в западном 30–20° (см. рис. 1, б). Рудное поле, включающее месторождение, образовано несколькими вертикальными минерализованными зонами дробления мощностью 8–10 м, приуроченными к тектонитам крупного Кидериканского разлома меридионального направления, в различной степени насыщенными

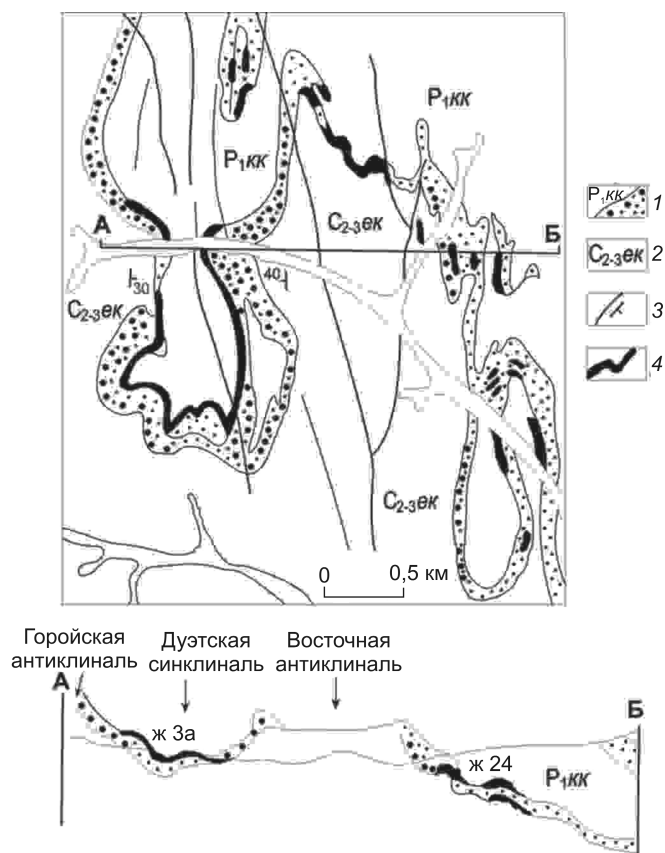


Рис. 2. Геологический план и разрез Дуэтского рудного поля, по В.А.Слезко:

1 — алевролиты с базальным горизонтом песчаников и конгломератов кукканской свиты, P_{1KK} ; 2 — алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы экачанской свиты, C_{2-3EK} ; 3 — разломы, залегание пластов; 4 — послойные рудные жилы

кварцем в виде прожилков и линз, ориентированных преимущественно параллельно сместителю разлома. Протяженность рудного поля 5 км, ширина 0,5–1 км. Длина рудных зон до 4,3 км (зона 1), мощность 8–10 м, длина по падению до 1,3 км. Содержание сульфидов в руде 5–6%, из них 2–3% — арсенопирит, остальные — пирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, халькопирит и др. Рудные зоны оперяются кварцеворудными жилами мощностью 0,1–1 м с разными ориентировкой и углами падения. Набор минералов в жилах богаче, чем в зонах, содержание Au выше — 15–25 г/т. Запасы месторождения — многие сотни тонн золота.

В Джагдинской золотоносной зоне большинство месторождений локализованы в куполовидных антиклиналях [12, 13, 16] — Маломир, Токур, Сагур, Унгличкан, Харгинское, Афанасьевское, на севере Сихотэ-Алиньской зоны размещаются в линейных антиклиналях — Тумнинское, Агние-Афанасьевское, Зимовье, Албазино (Нижнеамур-

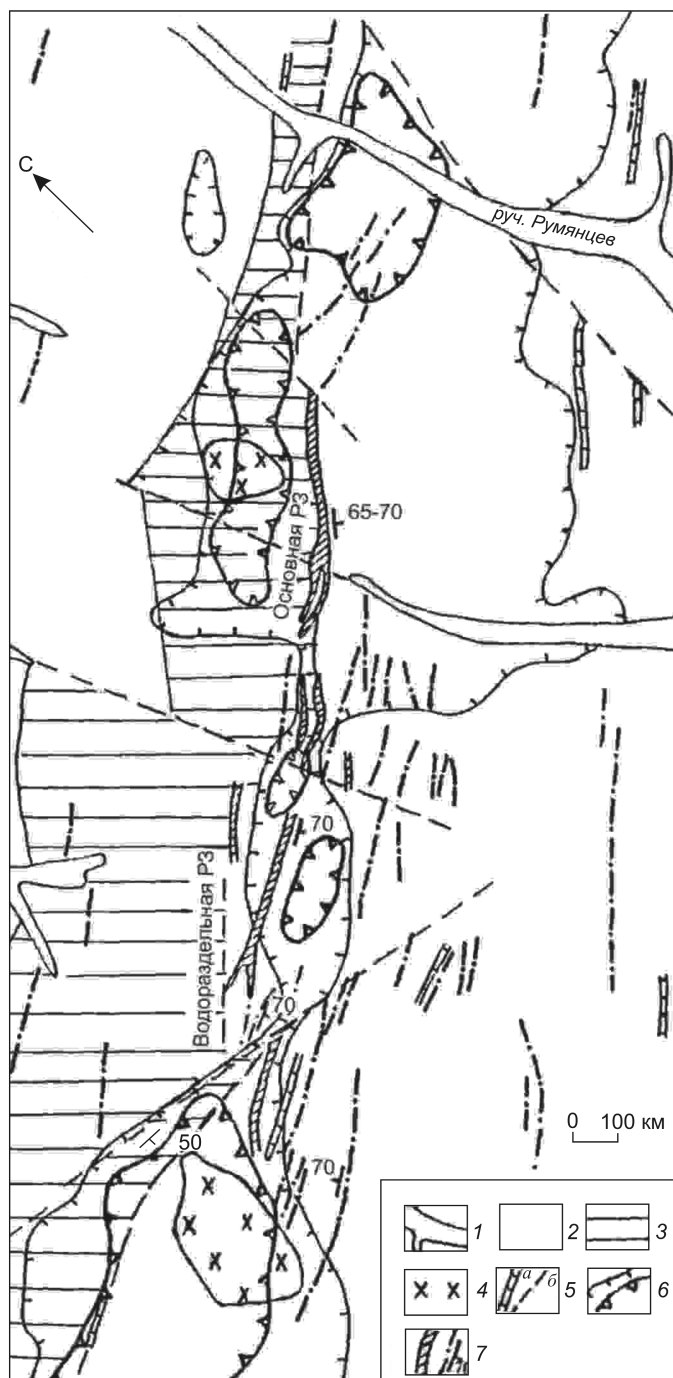


Рис. 3. Соотношение рудных зон, диоритового штока и магнитных аномалий на месторождении Глухое, по А.В.Шелехову с упрощениями:

1 — четвертичный аллювий; 2 — дислоцированные песчано-глинистые породы, готерив, баррем; 3 — аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы с углистым веществом, валанжин; 4 — диориты, K_2 ; 5 — дайки диоритовых порфиров (а), разломы (б); 6 — положительные магнитные аномалии; 7 — золоторудные зоны в масштабе карты и внесмасштабные, их элементы залегания

ский район). Эта группа месторождений расположена к северу от Центрально-Сихотэалинского минимума силы тяжести, уже в положительном гравитационном поле, но в локальных его понижениях. Приуроченность оруденения к антиклиналям обусловлена движением гидротермальных растворов вверх из областей высокого давления в области низкого, а также влиянием поднимающихся гранитоидных масс. В случаях когда такой магматизм не проявлен (на уровне современного эрозионного среза), оруденение охватывает и смежные с антиклиналями синклинали, как на рудном поле месторождения Дуэт (рис. 2).

Минерализованные зоны крупных разломов в складчатых комплексах и структурах ТМА. Нежданинское месторождение, кратко охарактеризованное выше, приурочено к зоне минерализованных тектонитов Кидериканского разлома (см. рис. 1). В зоне крупного Кулишовского разлома (Центральный Сихотэ-Алинь) находится месторождение Глухое [14, 16] (рис. 3). Разлом круто (70°) наклонен на юго-восток и сечет нижнемеловые дислоцированные песчано-глинистые породы, а также существенно глинистые с углеродистым материалом ($0,1-1\% C_{org}$) и вкрапленностью пирита и арсенопирита. Мощность милонитов и брекчированных пород зоны $0,3-0,5$ км. В нее внедрен шток диоритов длиной $7,5$ км и шириной $0,5-0,7$ км, представленный на поверхности двумя куполовидными выходами. Диориты залегают в лежачем боку рудоносной структуры. Рудные тела представлены прожилково-жильными гидротермалитами и брекчиями на кварцевом цементе. Оруденением затронуты и диориты. Содержание сульфидов в рудах $2-12\%$, характерен шеелит. Длина рудного поля $4-5$ км, ширина $0,3$ км. В нем выделяются рудные зоны, в которых опробованием оконтуриваются рудные тела. Главное рудное тело, включающее половину ресурсов месторождения, прослежено на $1,4$ км по простиранию и до 400 м на глубину. Его средняя мощность 19 м. На рудном поле известны еще десятки рудных тел, но с меньшими параметрами. В руде содержание Au 5 г/т, Ag 25 г/т, Cu $0,73\%$. Представляют интерес также Bi и W . Месторождение крупное.

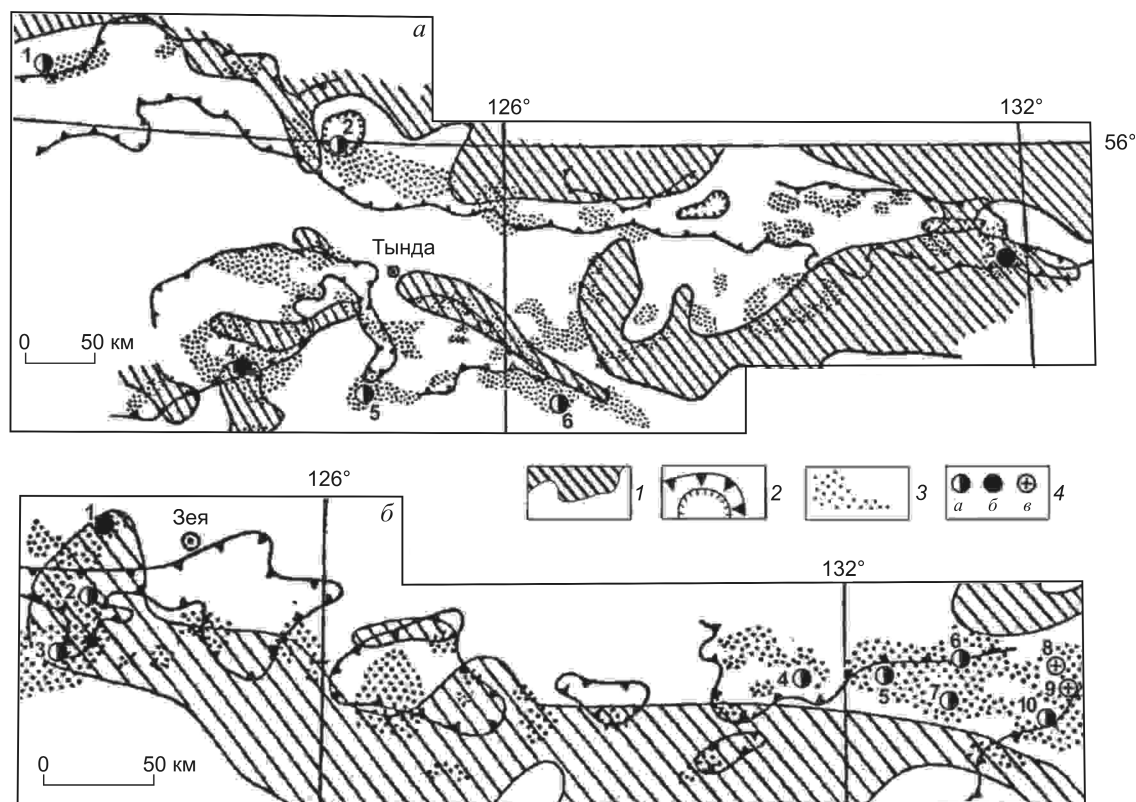


Рис. 4. Соотношение золотоносности и геофизических полей Становой провинции (а), Северобуреинской и Верхнеселенгинской (б) зон:

1 — региональные и локальные положительные магнитные аномалии; 2 — региональные и локальные гравитационные минимумы; 3 — золотоносные площади, 4 — золоторудные месторождения — золото-кварцевые (а), золото-сульфидные (б), золото-вольфрамовые (в); в Становой провинции: 1 — Ледяное, Скалистое, 2 — Бамское, 3 — Колчеданный Утес, 4 — Березитовое, 5 — Кировское, 6 — Золотая Гора; в Северобуреинской зоне: 1 — Боргуликан, 2 — Пионер, 3 — Покровское; в Верхнеселенгинской зоне: 4 — Маломыр, 5 — Ворошиловское, Верхнемынное, 6 — Токур, 7 — Сагур, 8 — Унгличкан, 9 — Харгинское, 10 — Афанасьевское

К объектам рассматриваемого типа относятся и упоминавшиеся месторождения Джагдинской зоны — Маломыр, Унгличкан, Зона Главного разлома (Токурское рудное поле). В отличие от двух предыдущих их рудные зоны залегают более полого и расположены не в осевых частях антиклиналей, а на их крыльях и в периклинали [16].

Взаимодействие глубинных структур разуплотнения (гранито- и диоритообразования) с фемическими и углеродистыми субстратами. Наиболее контрастно это явление наблюдается в Северобуреинской золотоносной зоне, где ареалы золотоносности располагаются на участках взаимодействия гравитационных минимумов с фемическим субстратом (рис. 4, б). С северной стороны этих минимумов там, где нет фемического субстрата, отсутствует и золотоносность. На востоке, уже в Джагдинской золотоносной зоне, такие субстраты проявлены с обеих сторон. В образовав-

шемся перешейке сконцентрированы почти все месторождения зоны, в том числе Маломыр, Токур, Унгличкан и др. Аналогичная картина наблюдается и в Становой золотоносной провинции, которая обязана своим возникновением взаимодействию двух региональных гравитационных минимумов (Северостанового и Тукурингского) с фемическими субстратами окраины Алданского щита (см. рис. 4, а). В пределах этих структур образовались все золоторудные месторождения Становой провинции: Ледяное, Скалистое, Бамское, Колчеданный Утес, Березитовое, Кировское, Успенское, Золотая Гора, а также десятки золотоносных узлов с промышленными россыпями и рудопроявлениями золота [12]. Золоторудные месторождения, расположенные в поле фемических субстратов, отличаются высоким содержанием сульфидов. Например, Колчеданный Утес, кварц-пиритовые и пиритовые жильные руды



Рис. 5. Зональное расположение золотосодержащих формаций относительно структур глубинного разуплотнения на юге Дальнего Востока:

формации: 1 — золотая, 2 — золото-серебряная, 3 — золото-редкометаллическая — W, Sn (Au); 4 — разуплотнение различной интенсивности (1 — интенсивное, 2 — средней интенсивности, 3 — слабое); 5 — региональные максимумы силы тяжести

ные тела которого содержат Au 5–20 г/т, столько же Ag, примеси Cu (0, n%), Pb, Zn, Bi и Pt [12].

Золоторудные районы складчатых областей с широким развитием углеродистых глинистых пород также ассоциируют с гравитационными минимумами. В Верхнеселемджинской зоне это месторождения Маломыр, Токур, Харгинское (см. рис. 4, б), на Сихотэ-Алине — Лазурное, Малиновское, Глухое [16], в Южном Верхоянье — Нежданкинское, Дуэт, Булар, Юр, Восход, Сарылах, Наталкинское и др. [15].

Положение оруденения в структуре региональной рудно-магматической зональности. В центральных частях хорошо развитых структур обычно проявлены кислый и ультракислый гранитоидный магматизм и редкометальное оруденение (W, Sn, Bi, Be и др.). Далее от центра — диоритоиды (монцо-

нитоиды), гранитоиды повышенной основности, золотое и серебряное оруденение с элементами редкометальности, в окраинных частях возможно сурьмяное и ртутное оруденение. Подобная картина наблюдается в зрелых орогенах, а в недоразвитых зональных структурах металлогенический процесс может остановиться раньше редкометальной стадии, т.е. на уровне золоторудной.

Зрелая структура рудно-магматической зональности ярко проявлена в Приморье (рис. 5). Она протягивается в север-северо-восточном направлении и конформна региональным гравитационным, частично магнитным полям и морфоструктуре горного массива Сихотэ-Алиня. Ее длина ~1000 км, ширина от 20 км на юго-западе до 100 км на северо-востоке. Данная орогенная структура сложена преимущественно нижнемеловыми дислоцированными песчано-глинистыми толщами, частично верхнепалеозойскими карбонатно-терригенными породами, прорванными позднемеловыми батолитами и штоками калиевых немагнитных гранитоидов. Это осевая центральная часть орогена, в которой выделяется редкометальная зона с месторождениями и рудопоявлениями олова и вольфрама. Редкометальная зона окаймлена золото-редкометальной (месторождения Глухое, Малиновское, Лазурное [14, 16]), иногда золото-вольфрамовой (месторождения Незаметное, Восток-2, Лермонтовское). Первая ассоциирует с интрузиями (штоки, массивы) натровых магнитных гранитоидов, вторая — с калиевыми немагнитными [14].

К западу от золото-редкометальной зоны на юге зональной Сихотэ-Алинской структуры выделяется собственно золоторудная зона длиной 350 км, шириной 70 км. Гравитационное поле на севере слабо отрицательное, на юге — положительное. Магнитное поле знакопеременное, но в общем положительное. Геологическая обстановка разнообразная — фанерозойские складчатые толщи, выступы допалеозойского фундамента, терригенные плитные комплексы (J–K), меловые вулканиты. Максимальная золотоносность сосредоточена на юге в виде многочисленных россыпей, месторождений (Аскольд, Криничное, Подосеновское, Прогресс), многочисленных рудопоявлений. Рудные тела локализованы в кварцевых жилах и минерализованных зонах в древних гранитах, диоритах и габбро-диоритах (Прогресс), в зонах тектонических контактов юры и палеозоя (Аскольд), в штоках меловых гранитоидов (Криничное), в дислоцированных толщах палеозоя [14].

В северной части Сихотэ-Алиньского орогена контрастный гравитационный минимум резко сменяется положительным гравитационным полем, в пределах которого отсутствует редкометальное оруденение и господствует золотое. Это Нижне-амурский золотоносный район [5].

Элементы рудно-магматической зональности проявлены и в ядрах Куйдусунского и Ям-Алиньского орогенов (см. рис. 5).

Геологические экраны, рудолокализирующие комплексы (триада из флюидопродвигającego субстрата, перекрывающего геологического экрана и пограничной рудовмещающей зоны). Для складчатых комплексов характерны экраны в виде мощных толщ глинистых, зеленокаменных пород. В структурах ТМА оруденелыми оказываются зоны пологих и близгоризонтальных контактов, резко отличных по физико-химическим свойствам пород, например в парах гнейсы основания – плитный комплекс, песчаники – карбонатные породы, вулканиты – осадочные формации.

Экранирование золотого оруденения толщами алевропелитовых пород характерно для всех месторождений складчатых провинций региона [5, 12–14]. В Джагинской зоне на Токурском месторождении почти все промышленные золоторудные жилы приурочены к толще филлитизированных алевропелитовых пород (PZ₃), к ее нижней части, залегающей на толще полимиктовых песчаников [13, 16]. На Харгинском месторождении отработанные золоторудные тела находятся в толще зеленокаменных пород небольшой мощности (100 м), за пределами которой оруденение слабое. Экранирующим, несомненно, является и мощный (~2 км) комплекс алевропелитовых, часто углеродистых пород, включающих золоторудные зоны упомянутого Неждановского месторождения, рудные тела которого достигают глубин до 1,4 км.

Своеобразием отличаются структуры локализации золоторудных месторождений Аллах-Юньского района — Дуэт, Юр, Восход, Булар. Наиболее изученное месторождение Дукат локализовано в верхнепалеозойской толще филлитизированных, часто углистых алевропелитовых сланцев, слагающих серию меридиональных складок. Наибольший практический интерес пред-

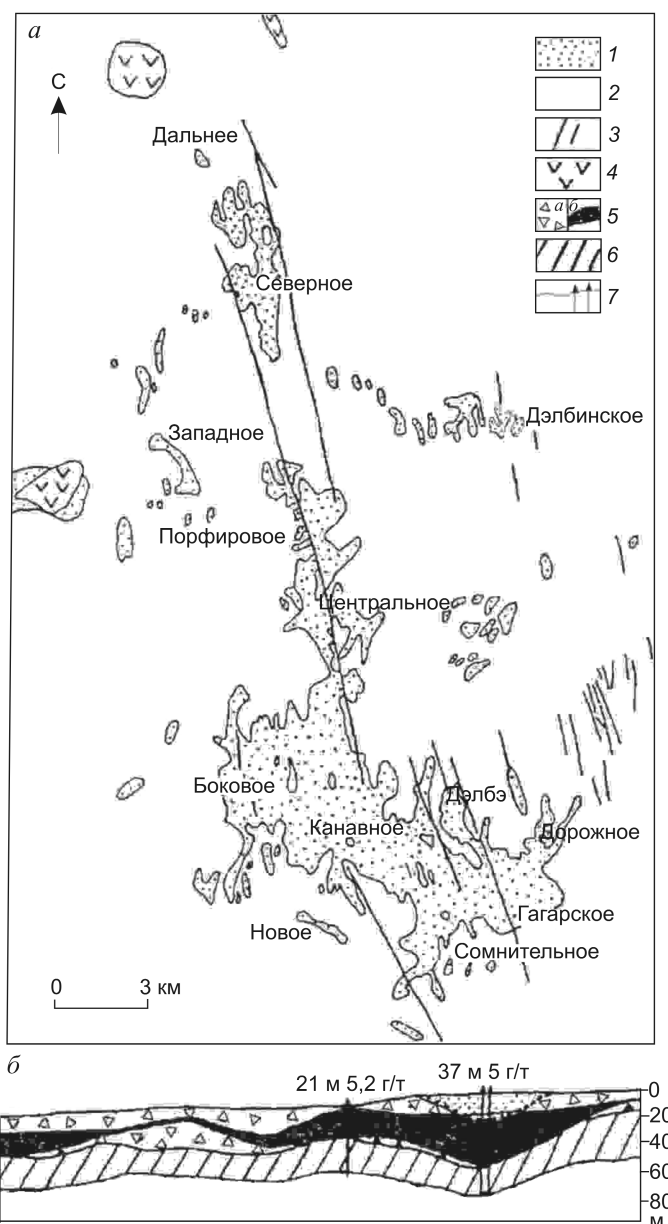


Рис. 6. Геологическая карта Куранахского рудного поля (а), по И.И.Силину, геологический разрез через рудную залежь месторождения Северное (б) [5]:

1 — юрские песчаники; 2 — нижнекембрийские карбонатные породы (известняки, доломиты); 3 — дайки лампрофиров; 4 — силлы щелочных пород; 5 — золотоносная залежь: глинисто-песчаная масса с включениями обломков боковых пород и кварцевых метасоматитов с бедными (а) и кондиционными (б) рудами; 6 — остаточная кора выщелачивания; 7 — буровые скважины, мощность рудного тела, содержания золота; названия золоторудных месторождений см. на рисунке

ставляют Дуэтская синклиналь и Восточная антиклиналь (см. рис. 2), осложненные складками, в которых контакты слоев разного литологического состава тектонически нарушены и повсеместно пронизаны рудными жилами мощностью 0,2–1 м.

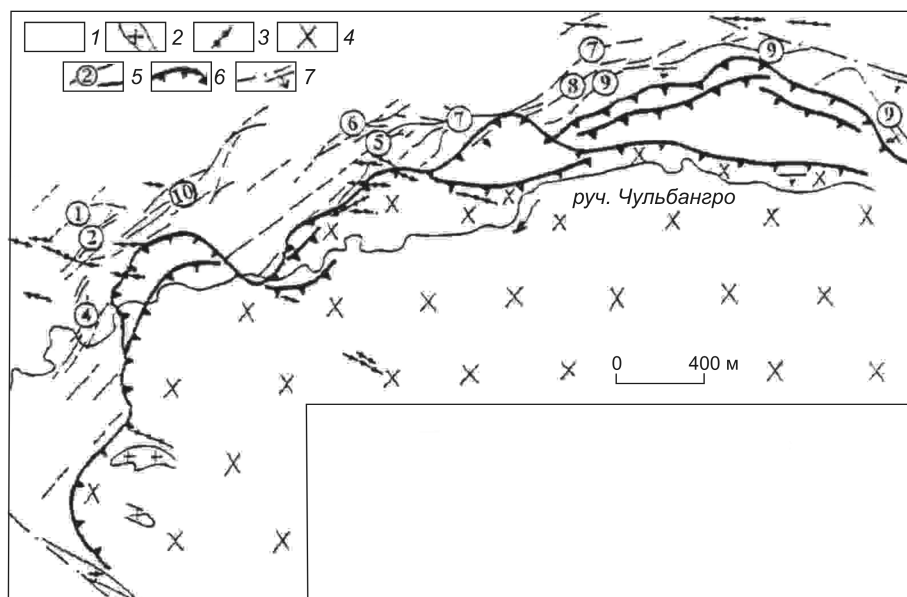


Рис. 7. Геологическая карта Бамского месторождения:

1 — рудовмещающие мигматиты, гнейсы, амфиболиты, AR; 2 — кварцевые граносиенит-порфиры, K₁; 3 — дайки диоритовых порфиритов, лампрофиров, K₁; 4 — рудоэкранирующие гнейсовидные граниты с пакетами мигматитов, AR; 5 — золоторудные тела; 6 — рудоэкранирующий разлом (подвиг); 7 — прочие разломы и направление падения геологических контактов

Жильный кварц массивный и полосчатый с примесью карбоната, включениями обломков сульфидизированных алевролитов. Содержание рудных минералов 1–2%. Это главным образом арсенопирит (90%), значительно реже пирит, гематит, халькопирит, сфалерит, галенит и др. Кристаллизация золота происходила в интервале температур 235–185°C, что сопоставимо с данными по Токурскому месторождению [13]. Проба золота 835. Рудные тела строго следуют вдоль контактов алевропелитовых пород с базальным горизонтом песчаников и конгломератов на многие километры, иногда с перерывами. Интрузивные породы на рудном поле отсутствуют. Мощность рудных тел увеличивается в замках складок, как это характерно для седловидных жил месторождения Бендига, одного из крупнейших в Австралии (и мире). Оно отрабатывалось до глубины 1385 м, было добыто около 700 т Au. Подобные месторождения известны в складчатых структурах (чаще палеозойских) и в других регионах мира [6]. Высказывались мнения (в России и за рубежом), что подобные рудные тела формируются в процессе слоеобразования. Однако специалисты, детально изучавшие эти объекты (в Южном Верхоянье и Австралии), наблюдали пересечение слоистости вмещающих пород рудными апофизами, сопровождающимися «стратиформные» тела [6, 9]. В связи с проблемой генезиса «страти-

формных» рудных тел следует обратить внимание на их пространственную связь с фацией конгломератов рудовмещающего горизонта песчаников (см. рис. 2). Это может свидетельствовать о просачивании постседиментационных рудоносных флюидов по конгломератам (наиболее пористая среда) и осаждении полезного груза в подошве базального горизонта.

Экранирование оруденения в структурах ТМА — обычное явление. Например, на сохранившейся от размыва площади (300 км²) Кура-нахского рудного поля [5] находится бо-

лее десятка золоторудных месторождений. Рудные залежи (рис. 6) сверху ограничены подошвой толщи нижнемеловых песчаников и залегают на неровной закарстованной поверхности нижнекембрийских карбонатных (известняки, доломиты) пород чехла Алданского щита. Их длина 2–5 км, ширина 50–800 м, мощность 10–20 м. В этих контурах опробованием выделяются рудные тела. Все породы прорваны дайками лампрофиров и силами щелочных пород мелового возраста.

Экранирование золотого оруденения отмечается и на Тас-Юряхском месторождении. Жилообразные рудные тела кварцевых и кварц-карбонатных метасоматитов мощностью до 35 м залегают в толще доломитов юдомской свиты (венд) в зоне ее контакта (тектонически нарушенного) с алевропелитовыми породами пестроцветной свиты (нижний кембрий), которые круто (65°) налегают на доломиты. Эти породы гидротермально изменены и, по-видимому, служили геологическим экраном при рудообразовании [5].

Золотое оруденение экранируют и тектонические поверхности. Например, на Бамском рудном поле [12], представляющем собой крупную штокверковую зону длиной 4,5 км, шириной 300–400 м с жилообразными залежами жильно-прожилкового и кварц-жильного типа золотого оруденения изменчивой мощности (от 1–3 до 90 м). Зона ограничена

поверхностью разлома (подвиг), падающей на юг–юго-восток под архейский блок гранитоидных пород под углами 35–50° (рис. 7). Видимая мощность экранирующей плиты ~0,5 км. Разлом контролируется милонитами с зеркалами скольжения, сместитель которого, как и рудные тела, наклонен на юг–юго-восток.

Рудовмещающие гранитоидные (диоритоидные) штоки. Венчают более глубоко залегающие рудогенерирующие (и флюидопроводящие) гранитоидные массивы и представляют собой конечные пункты транспортировки рудоносных флюидов. На геофизических картах фиксируются локальными магнитными аномалиями. В структурах ТМА к ним относятся месторождения Кировское, Пионерское, Етарское, в складчатых комплексах — Соболиное, Криничное, Малиновское, Дяппе, Верхнемынское, условно Албазинское [5].

Кировское месторождение [12] находится в Тукурингской золотоносной зоне (на юге) в южной части Джалиндинского штока нижнемеловых диоритоидов, частично в южном экзоконтакте, представленном архейскими гнейсовидными гранитоидами и габброидами. Породы штока существенно натровые с высокой степенью окисленности железа, содержат ксенолиты вмещающих пород, пересечены дайками порфиринов и порфиров. В центральной части месторождения, т.е. в южном эндоконтакте штока, развиты преимущественно монцититы. В рудном поле известны более 300 золотоносных жил, из которых несколько десятков эксплуатировались. Их длина до 600–700 м, простирание северо-восточное, мощность до 1,5 м, средняя 0,3 м, падение крутое. Глубина отработки 200 м. Рудные жилы сложены кварцем (до 98%) с вкрапленностью арсенопирита, халькопирита, висмутитина, пирита, а также шеелита, тетрадимита, самородного висмута, золота и др. Характерно присутствие крупного золота в тончайших кварцевых прожилках. Проба Au 920–970‰. Кроме золота, в рудах содержатся (до %): Bi 1,63, Cu 0,9, Zn 1,8, Pb 2, Sb 1,5, W 0,42, а также Ag 134 г/т. Отмечается тесная связь золота с висмутином и тетрадимитом. Среднее содержание Au в рудах от 3 до 95,8 г/т. На месторождении добыто около 12 т Au, запасы составляют около 10 т, имеются перспективы выявления объемных руд для открытой отработки [12]. Крупные масштабы и богатство россыпи р. Джалинды, начинающейся от Кировского рудного поля, из которой было добыто порядка 110–120 т Au, косвенно указывают на такие перспективы.

На Етарском золоторудном поле Джугджурской золотоносной провинции [5] руды локализованы в

позднемеловом штоке (6×1,5 км) натровых монцодиоритов и граносиенитов с высокой магнитной восприимчивостью. Породы гидротермально изменены, содержат вкрапленность сульфидов. Шток прорывают нижнедокембрийские анортозиты Джугджурского массива, многочисленные дайки диоритоидов, порфиринов. Последние гидротермально изменены, содержат кварцевые и кварц-сульфидные золотоносные жилы, линзы, прожилки, сосредоточенные в зоне длиной до 3 км, шириной до 1 км, круто наклоненной на юг–юго-восток. Вмещающие породы серицитизированы, окварцованы, пиритизированы. Мощность рудных тел до 2–3 м, протяженность до 300 м. Жилы ветвящиеся, с многочисленными апофизами. Мощные жилы на 95–98% состоят из кварца, а прожилки имеют сульфидный состав. Содержание сульфидов (пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, борнит, базобисмутит) в рудах до 50% и более. Золото тонкое (0,015–0,07 мм), связано с галенитом и пиритом. В крупной и богатой россыпи отрабатывалось самородковое (до 1 см) золото пробой 800‰. Содержание в рудах Au и Ag до 10n г/т; Au/Ag=1:2. Месторождение пока слабо изучено.

На месторождении Пионер в Верхнем Приамурье рудоносная зона мощностью первые десятки метров образована брекчиями с кварцевым цементом и залегает в штоке кварцевых диоритов, частично в породах кровли, представленной юрскими песчаниками. Рудные тела выделяются опробованием. В рудном кварце отмечаются барит и тонкая вкрапленность сульфидов (пирит, пирролизит, халькопирит, халькозин, арсенопирит). Золото мелкое 0,1–0,3 мм, средняя проба 873‰. Месторождение изучается. Поисково-разведочные данные свидетельствуют о значительных масштабах рудных тел, крупных ресурсах золота (многие десятки тонн) при сравнительно низких его содержаниях и возможности отработки месторождения открытым способом.

В Сихотэ-Алинской складчатой структуре [14] известно несколько месторождений, локализованных в штоках интрузивных пород. В Соболином золотоносном районе представляет интерес месторождение Лазурное, расположенное в осевой части Сихотэ-Алинского хребта в центре гравитационного минимума. Оно приурочено к двум штокам — Западному и Восточному, прорывающим нижнемеловую толщу дислоцированных песчано-глинистых пород. Западный шток (более перспективный) образован щелочными габбро и габбро-монцититами (первая фаза внедрения), Восточный — гранитами и гранодиоритами второй фазы. По геофизическим данным и результатам бурения штоки рас-

положены в центре интрузивно-купольной структуры. Вблизи них известны промышленные золотоносные россыпи. В эндо- и экзоконтактах штоков обнаружены обширные штокверки прожилково-вкрапленного оруденения [16, 17]. Их центральные части сложены прожилково-вкрапленными рудами, краевые — вкрапленными. Ориентировка золотоносных минерализованных зон кварцевых и кварц-сульфидных жил север–северо-западная и северо-восточная. Опробованием выявлены многие десятки рудных тел мощностью 2–6 м с содержанием Au 0,5–5,6 г/т; $Au/Ag=(1:1)-(1:10)$. Золото мелкое (0,01–0,2 мм), средняя проба 835‰. Средние содержания Au в пирите 12,5 г/т, халькопирите 1,8 г/т, Ag соответственно 43 и 333 г/т. Месторождение (особенно Западный шток) перспективно для обнаружения крупнообъемного оруденения.

Криничное месторождение [14] расположено на крайнем юге Сихотэ-Алиньской зоны, где в центральной части штока диоритоидов залегает серия крутопадающих кварцево-прожилковых зон. В зонах опробованием выделяются рудные тела мощностью до 6 м с содержанием Au около 5 г/т. Наиболее богатые участки зон отрабатывались с поверхности. Долины, начинающиеся с горы Криничная, содержали промышленные россыпи. Наличие в руде примесей Bi, As, W, а также теллуридов висмута, шеелита, самородного висмута позволяет сравнивать это рудное поле с известными крупными золото-редкометалльными месторождениями. Сходным образом оценивается Малиновское рудное поле [16], также локализованное в штоке меловых диоритоидов.

Албазинское золоторудное поле, в частности Ольгинская рудная зона, находится на западе Нижнеамурского золотоносного района. В отличие от предыдущих месторождений зона локализована в дайках гранит- и гранодиорит-порфиров, риодацитов, микродиоритов, сближенных в единой тектонической зоне меридионального направления шириной 30–40 м. Зона сечет толщу разнородных полимиктовых песчаников с прослоями алевролитов, кремнистых сланцев и спилитов юрского возраста. В ней дайки мощностью 25–35 м расщепляются на апофизы, изгибаются и секутся близширотными разломами, по которым внедрялись пострудные дайки гранит-порфиров. Золотоносны измененные до серицит-кварцевых метасоматитов тела риодацитов, а также метасоматиты по песчанникам, насыщенные прожилками кварца, тектонические брекчии, обломки в которых представлены риодацитами и осадочными породами. Содержание сульфидов в брекчиях до 15%. Главные минералы руд — кварц, серицит; второстепенные — альбит,

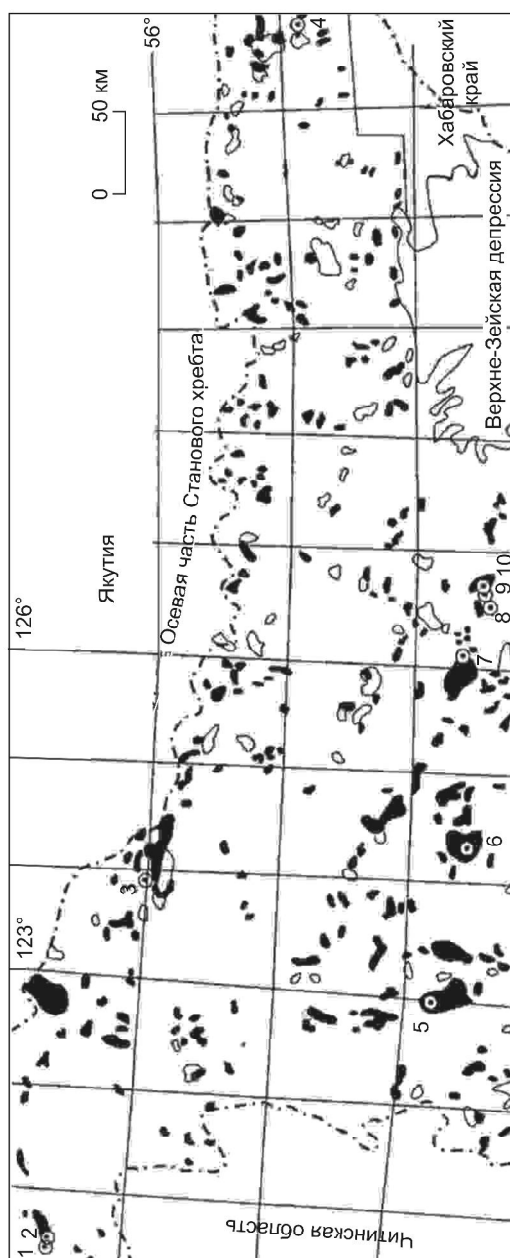
хлорит, железистый карбонат; рудные — пирит, арсенопирит, редко марказит, галенит, блеклая руда, халькопирит, бурнонит, сфалерит. Золото мелкое (0,01–0,2 мм), проба 700–720‰. Длина рудных тел сотни метров, мощность около 5–10 м. С поверхности руды окислены. Месторождение подготовлено к эксплуатации, ресурсы золота оцениваются высоко.

Деструкция золотого оруденения. Происходит под воздействием эндогенных и экзогенных факторов. Было показано, что золотое оруденение образуется на раннеорогенной стадии [5]. Но обычно (не всегда) орогенез продолжается (как на Сихотэ-Алине или в верховьях р. Бурея), на его поздней стадии внедряются калиевые гранитоиды, часто представленные крупными массивами, с которыми связано редкометальное оруденение. Золотые руды метаморфизуются, золото облагораживается и укрупняется [4]. Гидротермами с температурой до 300°C возможен существенный вынос золота [3]. По-видимому, в Селемджино-Кербинском поднятии оно так перемещалось во внешние от интрузий периклинальные зоны куполовидных структур [16]. Укрупнение золота происходило также в корях выветривания и зонах окисления, что способствовало их обогащению и формированию богатых золотоносных россыпей. Продолжающиеся поднятия в орогенных зонах (уже после позднеорогенных событий) приводили к эрозии золоторудных месторождений вплоть до полного их уничтожения. Например, в Дамбукинском районе [12] на обширной территории (5000 км²) практически в каждой долине сформировались промышленные золотоносные россыпи, а от рудных месторождений не эродированными остались лишь их корневые части, как на месторождении Золотая Гора, сохранившемся на водоразделе хребта Тукурингра. Оно отрабатывалось только в зоне окисления, глубже оруденение было чрезвычайно слабым. Рядом с рудным месторождением хребет пересекает палеодолина с мощным (30 м) аллювием и крупной золотоносной россыпью. Естественно, что в подобных геоморфологических условиях поиски рудных месторождений проблематичны, и золотоносная россыпь, даже богатая и крупная, не является безусловным критерием для поиска рудного месторождения. В сравнительно молодом рельефе с несложной геоморфологической историей шлиховые ореолы и россыпи (со слабо окатанным золотом), конечно, заслуживают самого серьезного внимания и оценки как важнейшие поисковые признаки.

Более надежные критерии поисков золоторудных месторождений — это *ареалы геохимических потоков (и сами потоки) рассеяния золота, серебра и их спутников, полученные при геохимической*

Рис. 8. Карта ареалов потоков рассеяния золота (черные) и серебра (контурные) северной части Амурской области [12];

месторождения: 1 — Скалистое, 2 — Лебяжье, 3 — Бамское, 4 — Колчеданный Утес, 5 — Березитовое, 6 — Кировское, 7 — Успенское, 8 — Иннокентьевское, 9 — Золотая Гора, 10 — Новая Аляска



съемке м-ба 1:200 000 (рис. 8). Они более определенно, чем россыпи, указывают на район возможного нахождения рудного источника золота, требующего детального изучения. Но и в этом случае необходимо исследовать геоморфологические особенности района — наличие коры выветривания, зоны окисления, которые могут исказить объективную картину.

Рассмотренные особенности локализации золотого оруденения в складчатых толщах и структурах тектономагматической активизации материковых районов Дальнего Востока могут быть положены в основу прогнозных исследований и поисков золоторудных месторождений. Прогноз следует начинать с анализа геологических и геолого-структурных, геофизических и геохимических карт.

По геологическим картам оконтуриваются территории развития складчатых комплексов различного литологического состава — терригенные с акцентом на алевропелитовые углеродистые, зеленокаменные, карбонатные, т.е. возможные геологические и физико-химические экраны и рудолокализирующие формации. В их пределах выделяются как возможные структуры локализации оруденения антиклинали, линейные и куполовидные, крупные разломы, штоки диоритоидов, монцонитоидов, гранитоидов повышенной основности с натровой щелочностью и высокой окисленностью железа, тектонические зоны сосредоточения даек подобного состава.

По геофизическим картам оконтуриваются ареалы геофизических полей, благоприятных для локализации золотого оруденения: магнитные положительные аномалии в региональном (и локальном) масштабе, указывающие на пространственное положение не вскрытых эрозией куполов и штоков продуктивных диоритоидов; локальные гравитационные минимумы, фиксирующие структуры разуплотнения; участки сочленения таких минимумов с магнитными максимумами, т.е. областей глубинного (и малоглубинного) взаимодействия гранитоидов с фемическими субстратами; участки резкого повышения интенсивности гравитационного поля в пределах линейных региональных минимумов силы тяжести, что, вероятно, связано с подъемом кровли астеносферы [1].

На основании геолого-геофизических данных оконтуриваются структуры рудно-магматической зональности, в центрах которых проявлены максимальное разуплотнение субстрата, калиевые гранитоиды и редкометальное оруденение [8]. Далее от центра — натровый магматизм и искомое золотое оруденение. В структуре такой зональности возможно обнаружение объемных золото-редкометальных месторождений [16].

Геохимические карты горно-таежных регионов, содержащие ареалы потоков рассеяния золота (см. рис. 8), позволяют с учетом геолого-геофизических данных и материалов предшественников произвести прогнозирование золотого оруденения и наметить планы поисковых работ на многие годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глубинное строение и металлогения Восточной Азии* / А.Н.Диденко, В.Б.Каплун, Ю.Ф.Малышев и др. – Владивосток: Дальнаука, 2010.
2. *Кременецкий А.А., Минцер Э.Ф.* Универсальность эволюции золоторудных систем — ключевой критерий регионального прогноза промышленного оруденения // Отечественная геология. 1995. № 5. С. 19–27.
3. *Летников Ф.А., Вилор Н.В.* Золото в гидротермальном процессе. – М.: Недра, 1981.
4. *Моисеенко В.Г., Фатьянов И.И.* Факторы концентрации золота в эндогенных процессах // Геохимия золота. Владивосток, 1978. С. 14–19.
5. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996.
6. *Некрасов Е.М.* Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
7. *Парада С.Г.* Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. – Ростов-на-Дону, 2004.
8. *Петрищевский А.М.* О гранитах, гравитации и природе региональных разуплотнений земной коры на Дальнем Востоке // Геотектоника. 1985. № 5.
9. *Силичев М.К., Белозерцева Н.В.* Время и условия образования согласных золото кварцевых жил Южного Верхоянья // Тихоокеанская геология. 1985. № 4. С. 52–57.
10. *Ханчук А.Н., Иванов В.В.* Геодинамика Востока России в мезокайнозой и золотое оруденение // Геодинамика и металлогения. Владивосток, 1999. С. 7–30.
11. *Щеглов А.Д.* Основы металлогенического анализа. – М.: Недра, 1976.
12. *Эйриш Л.В.* Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). – Владивосток: Дальнаука, 2002.
13. *Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г.* Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 42–58.
14. *Эйриш Л.В.* Металлогения золота Приморья (Приморский край, Россия). – Хабаровск: ДВО РАН, 2003.
15. *Эйриш Л.В.* О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 3. С. 250–260.
16. *Эйриш 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.
17. *Юшманов Ю.П.* Структура и зональность Au-Cu месторождения Лазурное в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 2. С. 85–90.

УДК 553.[2+41] (470.22)

© Л.В.Кулешевич, А.И.Голубев, 2012

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАСОМАТИТАХ СРЕДНЕЙ ПАДМЫ, КАРЕЛИЯ**Л.В.Кулешевич, А.И.Голубев (ИГ КарНЦ РАН)**

Месторождения благороднометалльно-U-V руд падминского типа связаны со щелочными метасоматитами. Pd, Pt, Au, Ag приурочены к слюдитам с селенидной и сульфидной минерализацией и могут разрабатываться совместно с U и V. Кроме известных ранее Pd-Cu-Bi-Se-S соединений, в клаусталитовых прожилках Средней Падмы установлены золото (Ag 5,4–8,6%) и палладиевый купроаурид, образующийся на контакте с мальшевитом PdBiCu(S,Se)₃, а также некоторые редкие оксиды (V-цинкохромит, Fe-олхонскит).

Ключевые слова: Карелия, Средняя Падма, щелочные метасоматиты, уран-ванадиевые руды, благородные металлы, золото.

Кулешевич Людмила Владимировна, kuleshev@krc.karelia.ru, Голубев Анатолий Иванович

NOBEL METALS IN ALKALINE METASOMATITES AT SREDNYIA PADMA, KARELIA**L.V.Kuleshevich, A.I.Golubev**

The deposits of the nobel-U-V-ores in alkaline metasomatites Padma types. Pd, Pt, Au, Ag related with mica metasomatites and can to mine together with U and V. On Srednyia Padma there was know Pd-Cu-Bi-Se-S-phases here before, and there was determinated gold (Ag 5,4–8,6%), Pd-copperauride on contacte with malyshevite PdBiCu(S,Se)₃ and was discovered rare oxides (V-zincochromite, Fe-olkhonskite).

Key words: Karelia, Srednyia Padma, alkaline metasomatites, uranium-vanadium ores, nobel metals, gold.

Месторождения и проявления благороднометалльно-U-V руд, выявленные в 80–90-х годах прошлого века в Заонежье (Карелия) ГГП «Невсгеология», были объединены в группу рудных объектов, названную падминским типом. Они локализируются в пределах Падминского, Космозерского и Шульгиновского рудных полей (РП) Онежской структуры и приурочены к зонам северо-западных сдвиговых деформаций протерозойского возраста (рис. 1, а), выделяемых как зоны складчато-разрывных дислокаций (СРД). С этими зонами связываются наиболее перспективные для промышленного освоения объекты благороднометалльно-U-V руд. К ним относятся месторождения Верхняя и Средняя Падма, Царевское, Весеннее, Космозеро и некоторые другие. Структура месторождений охарактеризована в производственных отчетах ГГП «Невсгеология» Ю.В.Петровым (1985) и Ю.А.Самойленко (1992–1994), монографиях и статьях [1, 2, 4, 7–9, 11].

В результате производственных и научно-исследовательских работ установлено, что уран-ванадиевые руды формируются в зонах метасоматического изменения на контакте разнородных пород — вулканитов основного состава, шунгитовых сланцев или аргиллитов низов заонежской свиты людиковия (2,1–1,95 млрд. лет, PR_{1ld}) с доломитами верхнеятулийского (2,3–2,1 млрд. лет, PR_{1jt}) надгоризонта. Наложенные структуры, к которым приурочено оруденение, имеют вид узких, сжатых брахиформных складок с падением крыльев под углами 75–80°. Рудоконтролирующими структурами служат зоны

северо-западного расщепления вдоль контакта разновозрастных пород — доломитовой пачки и алевролитов, но особенно благоприятны узлы сочленения крутопадающих северо-западных и сопряженных северо-восточных сдвиговых зон. По ним сформировались горстовые поднятия, связанные с блоковым строением фундамента и глубинными подвижками, происходившими в рифее [3]. Считается, что к таким зонам тяготеет флюидопоток, вызвавший интенсивные щелочные изменения вмещающих пород. В их пределах особо благоприятны участки, осложненные малоамплитудной складчатостью с пологими трещинами отрыва и отслоения (~20°), близкие с напластованием пород и секущие его, в низах алевролитовой и черносланцевой пачек (PR_{1ld}) и доломитах (PR_{1jt}). Форма рудных тел (линейных штокверков) и сопровождающих их метасоматитов линзовидно-пластовая по простиранию, пилообразная и треугольная в разрезе. Кондиционные ванадиевые руды локализируются в согласных и секущих сланцеватость трещинах отрыва. Размер наиболее крупных залежей (500–1300)×(40–100) м при длине иногда до 2,5 км. Рудные залежи вытянуты в северо-западном направлении, подсечены скважинами на глубинах от 5 до 500 м. Мощность рудных тел колеблется от 1,3 до 10–40 м. На Средней Падме в двух залежах установлено 11 рудных тел на глубинах от 55 до 310–325 м. Форма их залегания субгоризонтальная, по простиранию — асимметрично-линзовидная, в разрезе — седловидная. Рудные тела прослежены по простиранию от

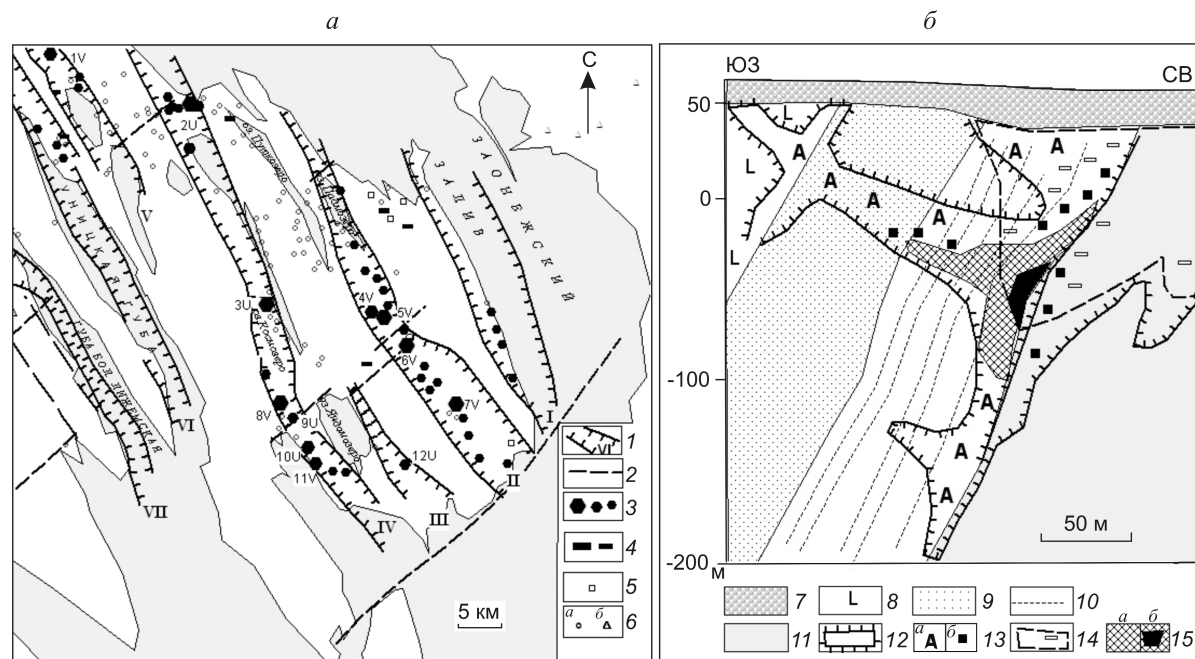


Рис. 1. Схема размещения месторождений и проявлений падминской группы на Заонежском полуострове (а), схема зональности месторождения Средняя Падма (б), по материалам КарГЭ и ГГП «Невскгеология», Е.К.Мельникову и др., 1995:

I — зоны складчато-разрывных деформаций (I — Кузарандовская, II — Падмозерская (Тамбицкая), III — Нумицкая, IV — Святухинско-Космозерская, V — Пигмозерская, VI — Уницкая, VII — Лижмозерская); 2 — сопряженные сдвиговые деформации; месторождения и проявления: 3 — разноранговые объекты комплексных U-V-руд (геохимическая специализация — знак элемента вблизи номера), 4 — шунгитов, 5 — колчеданная минерализация, 6 — меди (а), амфибол-асбеста (б); месторождения и рудопроявления: 1 — Шульгиновское, 2 — Святуха, 3 — Черный Наволок, 4 — Весеннее, 5 — Средняя Падма, 6 — Верхняя Падма, 7 — Царевское, 8 — Космозерское, 9 — Южно-Космозерское, 10 — Великая Губа, 11 — Кондобережская, 12 — Нулица; 7 — четвертичные отложения; 8 — метабазалты, габбро-диабазы; 9 — слюдисто-карбонатные сланцы; 10 — шунгитовые сланцы; 11 — доломиты; метасоматиты: 12 — зоны брекчирования и метасоматоза, 13 — альбититы (а), зона сброса железо-магнезиальных компонентов (б), 14 — гематитовая зона, 15 — Сг-V-слюдиты (а), Au-Pd-Cu-Se-U руды (б)

290 до 1175 м, их мощность по падению от 10 до 100 м, средняя — 2,45–12,5 м (Кадастр месторождений Республики Карелия).

Основным полезным ископаемым месторождений падминской группы является ванадий, но рудам присущ полиминеральный и многокомпонентный состав. Запасы и ресурсы руд ванадия, урана и других элементов месторождений падминской группы приведены в табл. 1, по [11, 12]. Ванадий концентрируется в роскозлите, ноланите, монтрозеите, карелианите, V-гематите (90% — в слюдах, 10% — в гематите и других оксидах). Среднее содержание V_2O_5 в рудах месторождений и разных категориях запасов составляет 1,39–2,78%, в отдельных залежах достигает 8–17,8%. Уран концентрируется в собственных минералах (первичных гидротермальных и вторичных, образовавшихся при окислении руд). Урановая минерализация Средней Падмы представлена вкрапленностью уранотитанатов в слюдах, уранинитом, настураном, коффинитом в кварц-карбонатных жилах. На месторождении Верхняя Падма

преобладают ванадаты урана (карнатит, тюямунит), развивающиеся по настурану. На месторождении Космозеро развиты настуран, селениды, платинит, браннерит и уран-пирролизитовая минерализация. В рудах среднее содержание U 0,043–0,128%, для Средней Падмы — 0,061–0,074%. Суммарные запасы месторождений и прогнозные ресурсы V_2O_5 составляют около 556 тыс. т, при этом большая их часть сосредоточена в пределах Падминского и Космозерского рудных полей [11, 12]. Для Средней Падмы установлены запасы V_2O_5 107,65 тыс. т категорий C_1+C_2 (запасы руды 4,6 млн. т, см. табл. 1).

Возможность разработки благородных металлов оценивалась совместно с уран-ванадиевыми рудами. Благородные металлы тяготеют преимущественно к Se-минерализации в слюдах и медно-сульфидной зоне. Содержание Pd в рудных телах иногда достигает 20–420, Pt 3–29, Au от 0,001 до 20–70, Ag 40–174 г/т [11], тогда как средние концентрации составляют десятые доли процента. Для Pd 0,18–0,83, Au

1. Содержание ведущих элементов руд, их запасы или ресурсы

Месторождения (рудопоявление)	V ₂ O ₅		U		Cu		Mo		Au		Ag		Pd	
	Ср/мах, %	Запасы/ ресурсы, млн. т	Ср, %	Запасы/ ресурсы, т	Ср/мах, %	Запасы/ ресурсы, т	Ср, %	Запасы/ ресурсы, т	Ср, г/т	Запасы/ ресурсы, кг	Ср, г/т	Запасы, кг	Ср, г/т	Запасы/ ресурсы, кг
Средняя Падма	2,35/17,8	4,6/ 2,478	0,067	3066	0,04	2137	0,022	1027	0,16	729	1,62	7427	0,31	1418
Верхняя Падма	2,32	0,565	0,046	240	0,52	2900	0,296	1674	0,21	119	1	567	0,18	100
Весеннее	3,09	1,204/ 1,456	0,046	230	0,05	1308	0,05/0,12	1308 -/600	0,18- 0,33	471/ 166	0,34	890	0,21/0,83	549/ 165
Царевское	2,33/14,8	3,378	0,066	3300	0,241	8100	0,066	2230	0,04	215	0,42	2118	0,24	1209
Космозеро	4,22/16,2	1,405/ 0,237	0,128	1800	0,844	11 800	0,134	1885	0,24	332	1,82	2569	0,4	562
(Шульгиновское)	2,41	-/ 6,224	-	-	-/6,5	-/ 4800	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Ср/мах — среднее/максимальное содержание элементов; прочерк — не оценивались. В графе запасы/ресурсы одна цифра — ресурсы. Приводятся суммарные запасы и ресурсы (Р+Р₂). Используются материалы [11, 12].

0,16–0,33 г/т (см. табл. 1) рассчитывались на общую массу ванадиевых руд без учета ураганных содержаний. На месторождении Средняя Падма золото распределено неравномерно, его содержание по атомно-абсорбционному анализу колеблется от 0,01 до 70 г/т на мощность от 0,3–1,7 до 3–7 м. Для месторождений Средняя и Верхняя Падма, Космозеро запасы Au составляют 0,12–0,73 т, ресурсы месторождения Весеннее — 0,166 т, суммарные запасы Pd и Pt — ~3,3 т. В рудах Средней Падмы Ю.А.Самойленко, наряду с Mo, оценивались запасы такого редкого элемента, как Re (450 кг).

Таким образом, месторождения комплексных руд Заонежского полуострова представляют собой крупные по запасам ванадия и уникальные по качеству руд и набору компонентов рудные объекты (U, V, Cu, Mo, Ag, Au, Pd, Pt, Se и некоторые другие элементы). Установлено, что путем флотационного обогащения и последующего кислотного автоклавного выщелачивания извлечение ванадия из руды достигает 97–98%, почти полностью извлекается уран. Благородные металлы могут извлекаться гравитационным или флотационным методами. Золото, палладий и менее платина в U-V рудах являются попутными элементами и, несмотря на их низкую среднюю концентрацию, благодаря протяженности залежей представляют практический интерес при комплексной разработке.

Авторами изучались рудные ассоциации минералов, их распределение и минералогия золота в альбит-карбонатных метасоматитах, в том числе фланговых сульфидсодержащих, слюдитов с селенидами, ассоциации прожилков и поздних секретонных пустот, уран-гематитовая и баритовая минерализация.

Процесс гидротермально-метасоматического изменения щелочного типа охватывает все типы пород в пределах зон складчато-разрывных деформаций Онежской структуры. Зональность метасоматитов, совмещение в колонке зон, возникших на разных стадиях процесса (Na и K), наложение более поздних окисленных ассоциаций описаны многими исследователями, изучавшими рудные объекты падминского типа [1, 5, 8, 18, 19]. И лишь несколько отличаются у разных авторов представления о возможном источнике растворов и рудных компонентов, связь с субщелочным источником, а также механизм проявления процессов при общем понимании его щелочного характера. Среди измененных пород выделяют (табл. 2): ранние низкотемпературные зеленосланцевые метаморфические преобразования; альбититы (эйситы), альбитизированные породы, а также сопряженные с ними фланговые зоны с метакристаллическим карбонатом,

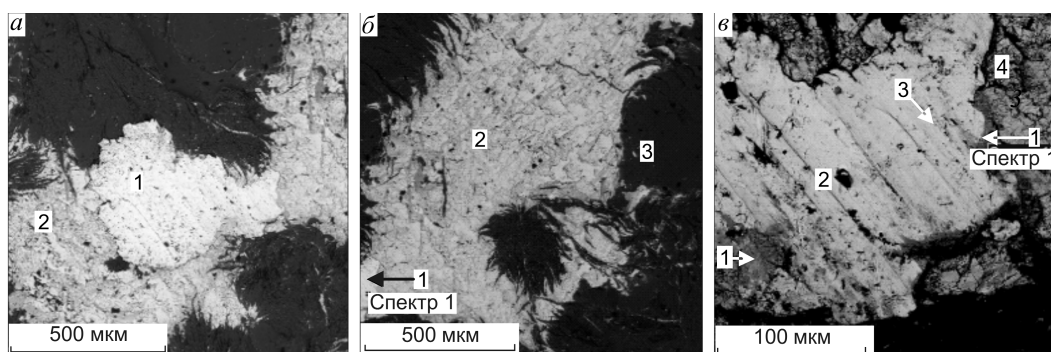


Рис. 2. Au-Pd-содержащие клаусталитовые прожилковые руды Средней Падмы (а–в):

а) 1 — золото, 2 — клаусталит; б) 1 — золото, 2 — клаусталит, 3 — Cr-V-слюда; в) 1 — Pd-Cu-Bi-Se-S фаза, 2 — золото, 3 — Pd-купроаурид, 4 — клаусталит

пиритом или гематитом (Na-метасоматиты); слюдиты, ассоциирующие с ними руды (K-метасоматиты). Метасоматиты зональные, сопровождаются промышленными уран-ванадиевыми рудами и вкрапленно-прожилковой минерализацией сопутствующих и сопряженных зон (сульфидной, благороднометалло-сульфоселенидной, содержащей Fe, S, Se, Cu, Pb, Mo, Au, Pd, Pt, Bi, железооксидной, редких и РЗЭ). Благородные металлы тяготеют преимущественно к участкам развития слюдитов и карбонат-кварцевых прожилков в них с сульфоселенидами; сульфидная минерализация фланговых зон менее золотоносна.

Метасоматические зоны. Метасоматиты (Na-щелочной стадии) внутренней зоны представлены формацией низкотемпературных альбититов. (Низкотемпературные гематит-карбонат-хлорит-альбитовые метасоматиты, содержащие урановую минерализацию, следует относить к эйситам [10, 15]). По светлой окраске они выделяются на фоне более темноокрашенных пород. Во внутреннем ореоле метасоматической колонки (зона 2) происходит сброс вынесенных петрогенных и рудогенных элементов и формируются сопряженные зоны карбонатизации, пиритизации. Увеличение кислотного потенциала сопровождается отложением

2. Последовательность процессов преобразования пород, Средняя Падма

Стадии формирования пород	Тип пород и изменений	Минеральный состав	Возраст
Осадочная и (диагенетическая); (вулканогенная)	Карбонатные; песчано-глинистые и углеродистые осадки; (породы основного состава)	Кальцит, доломит, иногда кварц; кварц, опал, органическое и углеродистое вещество, реже альбит, серицит	2,3–2,1 млрд. лет (PR ₁ / t ₂) 2,1–1,92 млрд. лет (PR ₁ / d)
Метаморфическая	Доломиты; шунгиты, углеродсодержащие, алевролиты, аргиллиты	Доломит, кальцит, кварц, иногда гематит-1; шунгит (фуллерен и другие формы C-вещества), кварц, альбит, доломит, серицит, хлорит	1,8–1,76 млрд. лет
Метасоматического изменения пород; дорудная: Na-щелочная	Зона 1 (альбититы). Зона 2 (Ca-Mg-Fe, пирит-карбонатная). Зона 3 (гематит-хлоритовая, сброс Fe)	1. Альбит (±доломит, реже актинолит). 2. Карбонат (анкерит, доломит), пирит, (барит). Хлорит, гематит, барит, ±доломит, ранние U-минералы (окислительные условия)	1,76–1,74 млрд. лет
Синрудная: K-щелочная и рудная (стадия привноса элементов)	1. Слюдиты. 2. Кварц-карбонатная, S-Se-прожилковые и U-Fe-O руды	1. Cr-V-слюды. 2. Доломит, кальцит, кварц, барит. Минералы Au-Pd-Pb-Cu-U-Se руд (±Cu, Mo, S на удалении), уранинит, гематит, редко шпинелиды	1,74–1,4 млрд. лет
Заключительная, сброс избыточных компонентов	Поздние прожилки в метасоматитах и слабо измененных породах	Кальцит, пирит; адуляр, кварц, барит; барит, сульфоселениды; альбит и кварц; иногда флюорит	-
Пострудного окисления	Изменения в зоне окисления	Окисленные минералы (гетит, V-оксиды, гидрогетит, молибдоменит, ковеллин, урановые слюдки и др.)	1,4–0,2 млрд. лет

3. Состав шпинелей и некоторых оксидов, мас. %

Элементы	Zn-Cr-V-шпинель		Олхон-скит	Рутил	Настуран	Уранинит	Гематит	V-гематит	Ti-гематит
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti		0,32	38,79	59,95					2,06
V	10,49	10,07	8,52					5,39	
Cr	27,81	28,86	7,88						
Fe	14,07	14,11	6,66				70,83	70,25	75,06
Zn	18,11	17,00							
Pb					18,05				
U					67,04	83,22			
Mg									
O	29,53	29,64	38,15	40,05	14,91	16,78	29,17	24,36	22,86
Сумма	100,01	100	100	100	100	100	100	100	99,98
№ обр	M2573	M2573	M2573	СП-15/1	СП-9	СП-9	СП-17	СП-9	СП-5/1

П р и м е ч а н и е. Слюдиты: 1–3 (3 — Cr-Fe-V-Ti-оксид (олхонскит), 5, 6; фланговая зона щелочных метасоматитов: 4, 7–9. Состав минералов изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA-II LSH с микроанализатором фирмы Tescan в ИГ КарНЦ РАН. (Приведен состав минералов по элементам, кислород рассчитывается компьютерной программой автоматически. Пустые клетки — элемент не установлен, здесь и далее).

окисленной вкрапленно-прожилковой минерализации (внешняя зона 3), представленной гематитом, уранинитом, баритом. В наиболее дислоцированных толщах, в центральных частях зоны метасоматических изменений, в участках с максимально проявленной трещиноватостью на альбититы во вторую стадию процесса накладываются Cr-V-слюдиты. Формируются зоны слюдизированных альбититов, слюдиты и слюдисто-карбонатные метасоматиты, содержащие U-V-руды, селениды и благородные металлы.

Натровые ранние щелочные метасоматиты — альбититы (эйситы) зоны 1 на месторождении Средняя Падма (см. рис. 1, б) окружены широким ореолом осветленных пород. Метасоматиты хорошо изучены [1, 5]. Они состоят в основном из альбита, встречаются карбонат, иногда калиевый полевой шпат. На них могут накладываться минералы других зон — слюдисто-карбонатные, кварц-карбонатные или баритовые прожилки с селенидами, сульфидами или с гематитом. В габбро-долеритах участка Космозеро более широко развиты эгирин-щелочно-амфиболовые метасоматиты. Центральные зоны метасоматической колонки в основных средах представлены эгиринсодержащими альбититами (эгирин 5–10%), промежуточные содержат рибекит (15–20%), внешние — актинолит, эпидот, хлорит, стильпномелан, т.е. минералы более типичные для метаморфического парагенезиса зеленосланцевой фации. В центральных зонах образуются V-Cr эгирин — наталиит ($\text{NaVCrSi}_2\text{O}_6$), Cr-V-дравит [19, 20]. На месторождениях Средняя Падма и Царевское щелочные амфиболы и эгирин отсутствуют. Монацит, апатит, барит щелочных

метасоматитов содержат повышенные концентрации РЗЭ (Ce до 1000 г/т, La, Nd), P, Ba.

Фланговый ореол зоны альбитизации (зона 2) может быть оконтурен по развитию метакристаллов карбоната и пирита. Это зона сброса вынесенных Ca-Fe-Mg компонентов при альбитизации. На Средней Падме в ней широко развиты зональные метакристаллы желтоватых карбонатов, представленные рядом Fe-доломит — анкерит (в центре кристаллов 6–8% Fe, в краевой зоне 15–18% Fe, Mn до 2,08%), вкрапленностью пирита (5–40%), реже встречается хлорит. Железо связывается в карбонатах и сульфидах. Карбонаты фланговых зон обычно более железистые, чем в альбититах. Монацит присутствует во всех зонах колонки. Во фланговой части зоны он образует призматические и овальные зерна размером 3–60 мкм, сопровождает сульфиды (захватывает и сечет кристаллы пирита), что указывает на длительность его формирования (до и позднее пирита). Фторопатит выделяется на границе альбитовых и карбонатных участков, часто образует цепочки зерен и их скопления возле пирита. В этой же ассоциации встречены рутил, циркон, иногда торит, а также барит, но он является более поздним минералом.

Внешняя гематитовая зона 3 — более поздняя, обычно она не симметрична относительно внутренних зон и распространяется несколько шире и ближе к поверхности. Гематитовые прожилки накладываются на разные породы. Они секут фланговые зоны с сульфидной вкрапленностью. Гематит иногда содержит Ti и V (1,71–5,39% V, табл. 3; до 26,1% V_2O_5). Вместе с ним образуются барит, хлорит, уранинит, настуран. Хлорит встречается в раз-

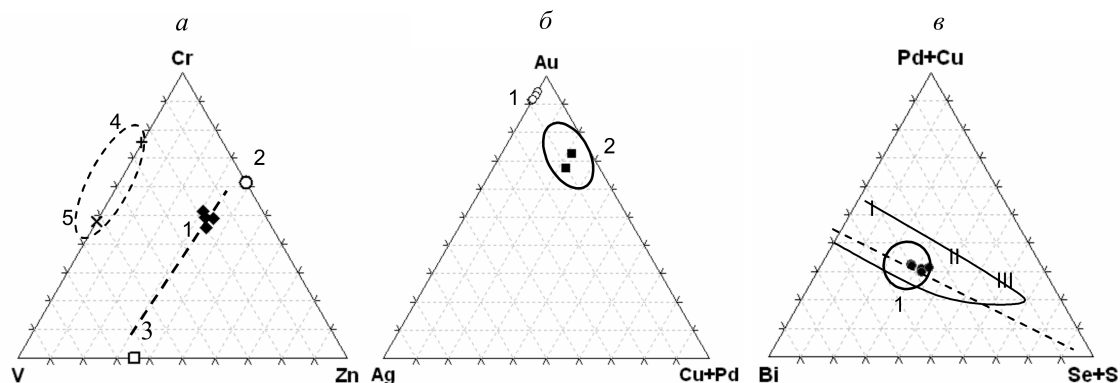


Рис. 3. Состав рудных минералов Средней Падмы на треугольных диаграммах (а–в):

а) 1 — V-Fe-Zn-Cr шпинель (обр. M2573), 2 — цинкохромит [13], 3 — коулсонит (теоретический состав), линия — ряд коулсонит-цинкохромит, 4 — Fe-олхонскит (обр. M2573), 5 — олхонскит (теоретический состав), выделенная область — изоморфный ряд; б) 1 — золото, 2 — купроаурид палладия; в) 1 — малышевит и область колебания составов; I — висмутиды, II — сульфоселениды, III — селеносульфиды [14]

ных метасоматических зонах, но чаще с гематитом. Он имеет Fe-Mg состав, $Al^{IV}=(0,72-1)-(0,31-0,45)$, образуется при T от 260 до 170–60°C (в прожилках с гематитом в среднем при 100°C).

Барит кристаллизуется в прожилках с гематитом, образует жилы и вкрапленность по сланцеватости, в том числе во фланговой зоне 2, где выделяется после пирита. Барий и барит (Sr до 0,67–3,11%) — типоморфные элемент и минерал поздних стадий данного процесса и метасоматитов. Появление барита свидетельствует о возрастании потенциала кислорода. В одной из рудных залежей халькопирит-барит-кальцитовая жила мощностью 0,5 м содержала Cu, Co 0,3%, Pd 11 г/т, Au 2 г/т, Mo и Bi до 0,01% (месторождение Космозеро) [9]. На удалении от зон щелочного изменения, в верхних горизонтах разрезов, в слабо измененных породах разного состава встречаются секущие баритовые жилы.

Метасоматиты калиевые (слюдиты) формируются на фоне возобновившихся деформаций, приоткрывания трещин, образования брекчий и интенсивного К-метасоматоза, сопровождающегося отложением слюд [1]. В некоторых работах их сравнивают с низкотемпературными грейзенами [5]. Они формируются в центральных зонах метасоматической колонны по подновленным зонам катаклаза, наложены на ранее сформированные альбититы, что подтверждает эволюцию режима и характера растворов. Это существенно К-метасоматиты, в подчиненном количестве содержащие карбонат, кварц. Богатые пятнисто-линзовидные и прожилковые тела на 90% состоят из мелкочешуйчатых слюд. Более крупночешуйчатые слюды тяготеют к прожилкам мощностью ~2–0,5 м. Они развиты вдоль трещин и в стороны от них по сланцеватости. На

удалении от центральных зон метасоматитов содержание слюд резко сокращается. В зависимости от состава вмещающих пород слюды представлены мусковитом, флогопитом-биотитом, V-Cr- и Cr-V-слюдами [19, 20]. Преобладают бежевый и бурокоричневый роскоэлит, содержащий до 17% V_2O_5 , зеленый Cr-V-роскоэлит и светло-зеленый V-Cr-фенгит, часто зональный. В эту стадию ванадий наиболее интенсивно накапливается в силикатах.

В изученных образцах темно-зеленые слюды (V-Cr-алюмоселадониты), ассоциирующие с клаустилитом, содержат V 0,61–8,71, Cr 2,94–12,73%. В ассоциации с Cr-V-слюдами образуются Cr-Zn-шпинели: цинкохромит (Zn 28,02, Cr 44,56, O 27,42% [13]) и установленная нами V-Fe-Zn-Cr-шпинель (рис. 3, а; см. табл. 3). В ряду известных шпинелей с крайними членами цинкохромит ($ZnCr_2O_4$) – коулсонит (FeV_2O_4) характерен ограниченный изоморфизм в парах между Cr-V и Fe-Zn. Изученная шпинель содержит Zn до 17–19,89, Cr 23,65–28,86, V 9,16–10,49, Fe 14,07–19,30%, что позволяет предполагать возможность более широкого изоморфизма в цинкохромитах, чем предполагалось ранее (для поиска и сравнения данных малоизвестных минералов рекомендуется обращаться к сайту Mineralogy Database). В слюдитах также обнаружен оксид титана, содержащий Cr, V, Fe — Fe-олхонскит $(V,Cr,Fe)_2Ti_3O_9$ (см. табл. 3, иногда с микровключениями браннерита).

На заключительных стадиях метасоматоза калий фиксируется также и в калиевом полевошпате, который появляется в небольших количествах в метасоматитах и на удалении от них, в поздних секущих прожилках адуляра с баритом. Фор-

мирование слюд сопровождается резким увеличением химического потенциала К, а также повышением концентраций Li, Sn, Be в растворах и, соответственно, в измененных породах. При этом появляются V-Li-слюды — тайниолит [19]. Смена щелочного режима растворов на более кислотный была в целом благоприятна для отложения V и Cr.

В 3-ю жильную стадию происходит подновление трещин и сброс привнесенных и мигрирующих (переотлагающихся) рудогенных элементов. Этот процесс сопровождается образованием карбонатных с селенидами и баритовых жил. На Средней Падме вся жильная минерализация располагается в единой системе пологих трещин отрыва. К ним приурочены различные типы руд (брекчиевидные, прожилковые) — урановые, благороднометалльные с селенидами, сульфоселенидами и др. Для центральной зоны слюдитов установлена следующая рудная зональность: 1 — селенидная (Pb, Bi, Pd, Au, Ag), 2 — урановая, 3 — медно-молибденовая. На Падминском рудном поле благодаря исследованиям разных авторов определено около 100 разных минералов.

Рудная минерализация периферических зон метасоматитов. Фланговая зона 2 содержит преимущественно вкрапленность сульфидов. Среди минералов наиболее распространен пирит (5–30%), в меньшем количестве встречаются сульфиды полиметаллов, молибденит, галенит, рутил, монацит, апатит, реже клаусталит, единичные зерна бертьерита (см. табл. 3) и минералы благородных металлов (серебро и золото в ассоциации с сульфидами меди). Пирит образует вкрапленность метакристаллов кубического, пентагондодекаэдрического или округлого облика размером от 1 до 4–5 мм. Он часто содержит захваченные при кристаллизации включения карбоната, сфена, обычно сопровождается более поздними сульфидами — халькопиритом, маложелезистым сфалеритом, борнитом, галенитом, молибденитом, баритом, реже клаусталитом. Медно-молибденовая минерализация обогащена Re. Урановые минералы в зоне 2 встречаются редко.

Рудная минерализация центральных зон слюдитов представлена уран-ванадиевым (1) и благороднометалльно-селенидным оруденением (2) [1, 5, 14, 16, 17]. Урановорудная минерализация слюдитов включает уранинит, настуран, коффинит, монтрозит [1, 5]. Сульфиды в них присутствуют в небольших количествах. Урановые минералы выделяются после сульфидов и по мелким трещинкам секут их. Уранинит образует зерна размером до 1–1,5 см и замещается поздним кальцитом и настураном. Настуран ассоциирует с сульфидами и селенидами (клаусталит, парагуанахуатит). Настуран развивается также по гематиту, оконтуривает и цементирует

его вытянутые пластинчатые кристаллы. Наиболее поздние из урановых минералов — колломорфный коффинит и хлорит-пеннин.

Минералы прожилково-гнездовой карбонат-селенидной ассоциации (2 тип) секут раздробленные слюдиты. Рудная минерализация прожилков Средней Падмы представлена клаусталитом (PbSe), Pb(Se,S), более редкими парагуанахуатитом Bi₂Se₃, вейбуллитом Pb₆Bi₈(Se,S), а также сульфидами. Ю.С.Полеховским с соавторами выявлены многокомпонентные сложные интерметаллиды Pd с Bi, Cu, S-Se, которые отнесены к трем группам — висмутидам, сульфоселенидам, селеносульфидам [14, 16, 17]. Среди них установлены соболевскит (PdBi), фрудит (PdBi₂), Pd₂Bi₅, Pd-Bi-Cu-Se-S-фазы и обнаружен новый селенид палладия и висмута — падмаит (PdBiSe), позднее — малышевит PdBiCuS₃ [6]. Нашими исследованиями образцов Cr-V-слюдитов Средней Падмы с клаусталитом также выявлены Pd-Cu-Bi-соединения с S и Se, которые можно отнести к селеносодержащему малышевиту PdCuBi(S,Se)₃ (табл. 4 (6–8); см. рис. 2, в, 3, в).

Золото в изученных образцах находится в тесном срастании с клаусталитом (см. рис. 2, табл. 4, 5). Выделено тонкодисперсное золото размером от 3–30 мкм и видимое размером до 2–5 мм. Оно содержит 5,41–8,58% Ag (см. рис. 3, б), иногда примесь Se до 0,77%. На контакте золота с Se-малышевитом установлены купроаурид палладия (Au-Ag-Cu-Pd-фаза) (см. табл. 5), в клаусталите — микроскопические Pt-Bi-фазы (масловит PtBi₂?). Увеличение концентраций Ag и Pd в купроауриде, вероятно, снижает температуру образования, чем и объясняется его появление в низкотемпературных рудах. Полученные результаты подтверждают данные Ю.С.Полеховского с соавторами о существовании сложных Pd-Bi-сульфоселенидов и селеносульфидов и более редких висмутидов Pt. В этой же ассоциации в прожилке с клаусталитом встречаются сульфиды — халькопирит, пирит, Se-галенит.

Гипергенные изменения по поздним трещинам привели к формированию зон окисления и вторичной цементации. Вторичные минералы урана — тюямунит, карнотит, болтвудит, велсендорфит, казолит и др. Как отмечают исследователи руд, карнотит и тюямунит распространены по всей зоне окисления. Болтвудит, велсендорфит и казолит замещают оксиды урана и коффинит. В зоне цементации образуются хеггит, борнит, халькозин, ковеллин, отмечена самородная медь, в зонах поверхностного окисления — оксиды, гидроксиды, сложные водосодержащие соли, U-V-фосфаты, карбонаты, селениты (молибдомениит по клаусталиту).

4. Состав рудных минералов из различных зон метасоматитов, мас. %

Элементы	Пирит		Галенит	Клаусталит		Молибденит	Бергтерит	Халькопирит		Борнит	Сфалерит
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S	56,8	56,96	15,1			40,60	36,51	36,03	37,79	34,27	34,71
Fe	43,20	43,05	1,78				18,64	30,39	29,55	14,88	1,22
Zn											64,07
Cu								33,58	32,66	50,85	
Pb			83,12	73,11	75,23						
Mo						59,40					
Se				26,89	24,77						
Sb							44,85				
Сумма	100	99,99	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. Типы измененных пород: 1, 3, 4, 6, 7, 9–11 — фланговые зоны с сульфидами. 2, 5, 8 — слюдиты с прожилком клаусталита.

Метаморфические преобразования Онежской структуры происходили в условиях зеленосланцевой фации и небольших глубин: по парагенезисам вулканитов основного состава и данным хлорит-слюдистого геотермометра температура оценивается в 430°C, давление <2 кбар [1, 5]. Северо-западные зоны сдвиговых деформаций и приуроченные к ним щелочные метасоматиты наложались на уже складчатую структуру и слабо метаморфизованные породы. По данным изучения газовой-жидкой включений альбититы формировались в интервале $T_{\text{гом}}$ 400–270°C, $P_{\text{пл}}$ 1–0,6 кбар. Смене щелочности растворов предшествовали подвижки, вызвавшие отслоения в породах и трещины, которые заполнялись слюдитом и кварц-карбонатными прожилками с рудными минералами. Отложение слюд, а затем кварц-карбонатных прожилков с сульфидами, селенидами и благородными металлами происходило при снижении температуры от 305–245 до 150–120°C (образование селенидов) и затем на пострудном этапе при T 150–100°C. В таких малоглубинных и эпипермальных условиях существенную роль играл кислород, что способствовало смене сульфидов гематитом, бари-

том, появлению урановых минералов (в гематитовой зоне, слюдитах, в обстановке приповерхностного окисления — зоне гипергенеза).

Формирование слюдитов происходило при высоком μK_2O . По-видимому, перенос и переотложение благородных металлов осуществлялись сначала восстановительными флюидами, а затем высокосолёными водно-углекислотными (до 40% NaCl-экв.). Присутствие в рудах ЭПГ, V, Ti, Cr, Co, Cu указывает на то, что интенсивным преобразованиям под действием щелочных флюидов подвергались породы базит-гипербазитового ряда и шунгиты, содержащие эти элементы. Появление же TR, РЗЭ (Ce, La, Nd), Ba, Р связано со щелочным источником [1], что подтверждается и нашими данными по минералогии и геохимии. Радиологический возраст альбититов, слюдитов, первичной и гипергенно измененной Cu-Se-U минерализации, установленный разными методами, колеблется от 1770–1740 до 270 млн. лет [1, 21].

Таким образом, проведенные исследования позволили проследить последовательность минералообразования в полно проявленных и фланговых

5. Состав золота и некоторых минералов благородных металлов из селенидных прожилковых руд Средней Падмы, мас. %

Элементы	Золото				Купроаурид Pd		Pd-Bi-Cu-Se-S-фаза (Se-малышевит)					Масловит PtBi ₂ (?)	
Ag	8,58	5,41	6,75	8,1	6,0	10,34							
Au	90,65	94,59	92,71	91,9	72,50	67,49							
Se	0,77						13,60	7,82	12,48	7,61	10,17		
S							20,04	19,75	19,06	20,28	22,42		
Cu					5,56	8,38	10,0	11,55	11,02	11,98	10,71		
Pd					15,94	13,78	21,27	21,13	19,96	20,19	19,92		
Pt												35,10	38,56
Bi							35,10	39,75	37,47	39,94	38,77	64,90	61,44
Сумма	100	100	99,46	100	100	99,99	100	100	99,99	100	100		

зонах щелочных метасоматитов, слюдитах и рудных зонах. Зональность формирующихся метасоматических колонн и состав метасоматитов в разных средах и на разных уровнях отличаются. Структурная позиция щелочных метасоматитов определяется приуроченностью к северо-западным – северо-восточным зонам и участкам перегиба ундулирующих осей складок (переходу антиклиналь – синклиналь). В региональном плане наиболее глубокий уровень проявления окорудного метасоматоза и оруденения тяготеет к Падминской зоне СРД Онежского прогиба (0,5–1,5 км от уровня среза). К-метасоматоз, благоприятный для отложения благороднометаллической минерализации, наиболее интенсивно проявился в участках флексурных перегибов, осложненных трещинами отслоения, формирующими штокверк вблизи контакта разнородных толщ. Благороднометаллическая минерализация руд Средней Падмы представлена минералами Pd, Au, Ag. Золото высокой пробы (5–8% Ag) ассоциирует с клаусталитом, минералами Pd с Bi, Se, S, реже Pt. Изученные минералы палладия близки к ранее установленным сложным сульфоселенидам и селеносульфидам. Купроаурид палладия образуется на границе с Se-малышевитом. В ореоле прожилковых руд и во фланговых сульфидсодержащих зонах золото встречается в меньшем количестве. В ванадиевых рудах установлены цинкохромит, V-Zn-Cr-Fe-шпинель, Fe-олхонскит. Благородные металлы могут разрабатываться с основным типом руд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 6. С. 3–14.
2. Булавин А.В. Закономерности размещения комплексного ванадиевого оруденения в структурах Онежского прогиба: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Л., 1990.
3. Булавин А.В., Савицкий А.В. Основные особенности внутреннего строения зон СРД // Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. Апатиты, 1989. С. 23–25.
4. Голубев А.И., Новиков Ю.Н. Геологическое строение и уран-ванадиевые месторождения Заонежья // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2005. С. 4–13.
5. Леденева Н.В., Пакульнис Г.В. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 3. С. 258–268.
6. Малышев PdBiCuS₃ — новый минерал из Средней Падмы в Южной Карелии / А.А.Черников, Н.И.Чистякова и др. // Новые данные о минералах. М., 2006. Т. 41. С. 14–17.
7. Мельников Е.К., Петров Ю.В., Рябухин В.Т., Савицкий А.В. Онежский рудный район с уран-золото-платинометалло-ванадиевыми месторождениями // Разведка и охрана недр. 1992. № 8. С. 31–36.
8. Мельников Е.К., Шумилин М.В. О возможной модели образования уран-ванадиевых с благородными металлами месторождений в Онежском районе (Карелия) // Изв. вузов Геология и разведка. 1995. № 6. С. 31–37.
9. Металлогения Карелии. / С.И.Рыбаков, А.И.Голубев, В.Д.Слюсарев и др. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999.
10. Метасоматизм и метасоматические породы / В.А.Жариков, В.Л.Русинов и др. – М.: Недра, 1998.
11. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Отв. ред. Михайлов В.П., Аминов В.Н. – Петрозаводск: Карелия, 2005.
12. Недра северо-запада Российской Федерации / В.А.Коровкин, Л.В.Турьева и др. – СПб.: ВСЕГЕИ., 2003.
13. Нестеров А.Р., Румянцев Е.П. Цинкохромит ZnCr₂O₄ из Карелии // Зап. ВМО. 1987. Ч. 116. Вып. 3. С. 367–371.
14. Новый тип палладийсодержащей минерализации в метасоматитах Карелии / Ю.С.Полеховский, А.В.Волошин, И.П.Тарасова и др. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 7. С. 86–95.
15. Омеляненко Б.И., Лисицына Г.А., Наумов С.С. О формационной самостоятельности низкотемпературных натровых метасоматитов (эйситов) // Метасоматизм и рудообразование. М., 1974. С. 160–171.
16. Падмаит PdBiSe — новый селенид палладия и висмута из метасоматитов Южной Карелии / Ю.С.Полеховский, А.В.Волошин, И.П.Тарасова и др. // Зап. ВМО. 1991. № 3. С. 85–88.
17. Полеховский Ю.С., Волошин А.В. Новые природные системы платиноидов в метасоматитах Южной Карелии // ДАН. 1990. Т. 315. № 3. С. 700–703.
18. Полеховский Ю.С., Тарасова И.П. Гидротермально-метасоматические процессы и минеральные ассоциации метасоматитов в нижнепротерозойских породах Онежского прогиба Карелии // Метасоматизм и рудообразование. Л., 1987. Ч. 2. С. 40–42.
19. Румянцева Е.В. Минералогия и генезис хром-ванадиевых слюдитов Онежского прогиба: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Л., 1984.
20. Румянцева Е.В., Мищенко К.С., Калинин Л.И. Тайнилит и хромванадиевые слюды в метасоматитах Карелии // Зап. ВМО. 1984. Ч. 113. Вып. 1. С. 68–75.
21. Zircon from high carbon palaeoproterozoic sediments (shungites) of the onega structure (Central Karelia, NW Russia) / N.A.Goltsin, A.K.Saltykova, Yu.S.Polekhovskiy et. al. // 4-th International Shrimp Workshop. Abstractvol. 2008. S-Pet. P. 50–53.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.043

© М.М.Константинов, Т.Н.Косовец, М.В.Наталенко, Г.Ю.Орлова, 2012

ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНАЯ СИСТЕМА ГЕНОМ: СОДЕРЖАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.М.Константинов, Т.Н.Косовец, М.В.Наталенко, Г.Ю.Орлова (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассмотрены результаты использования комплексной информации по изученным месторождениям определенных рудных формаций для решения задач поисков и оценки новых объектов.

Ключевые слова: поиски, оценка, месторождения, информационные системы.

Константинов Михаил Михайлович, Косовец Татьяна Николаевна, Наталенко Мария Владимировна, Орлова Галина Юрьевна, Blagmer@tsnigri.ru

PROSPECTING-EVALUATION SYSTEM — GENOM: ITS PRINCIPALS AND FUTURE

M.M.Konstantinov, T.N.Kosovets, M.V.Natalenko, G.U.Orlova

Applications of inter disciplinary data on the deposits studied are considered to be used further in exploration and evaluation of new objects.

Key words: prospecting, evaluation, deposits, information systems.

Геном — совокупность генов, определяющих жизнедеятельность определенного организма. Применение этого понятия при поисках и оценке рудных месторождений достаточно условно, в то же время позволяет внести некоторые элементы системного подхода в решение генетических и прикладных вопросов.

В рудной геологии понятию «геном» наиболее близко понятие «рудная формация» — группа месторождений со сходными устойчивыми минеральными ассоциациями в близких геологических условиях нахождения [2]. Поэтому анализ геологических признаков («генов», или элементов, генома), определяющих интенсивность развития рудообразующих процессов и, соответственно, масштабы оруденения, был начат с исследования конкретных рудных формаций. Совместно с Н.А.Мухаметовой осуществлен поиск способов оперативной оценки месторождений золото-мышьяковисто-сульфидной формации.

Золото-мышьяковисто-сульфидные месторождения представлены прожилково-вкрапленными рудами в глинисто-алевролитовых толщах. Они обладают значительным сходством как по геологическим обстановкам нахождения, так и по вещественному составу руд. Для руд характерны тонкодисперсное золото, концентрирующееся в тонкоигльчатом арсенопирите и пирите, бедность минеральными видами и спектром элементов, участвующих в рудообразовании. Однообразны и рудовмещающие песчано-алевроглинистые толщи. Поэтому

так сложна задача разбраковки рудопроявлений по визуальным признакам на ранних стадиях изучения и оправдан поиск математико-статистических параметров, позволяющих подойти к оценке объектов с ограниченным и однообразным набором признаков. В целях разделения объектов золото-мышьяковисто-сульфидной формации по масштабу оруденения использован так называемый алгоритм «БР» [4]. Проанализировано 15 объектов: десять — в качестве эталонных, пять — в качестве объектов экзамена. Эталонные объекты по масштабу сгруппированы следующим образом: к группе I отнесены объекты крупные и уникальные, к группе II — мелкие и средние. Исходным материалом служила табл. 1, в которой отражено наличие или отсутствие на объектах геологических, минералогических, геохимических и геофизических признаков. Всего в таблице 478 позиций, объединенных в 24 раздела: региональные геологические структуры; составы пород субстрата; структуры рудных районов и узлов; геологические формации, слагающие рудные поля; структуры рудных полей; морфология и условия залегания рудных тел; площади рудных полей по геологическим контурам; магматические породы, распространенные в пределах рудного поля; вмещающие породы; метаморфизм вмещающих пород; минералы гидротермально измененных пород; парагенезисы золото — тектоструктуры руд; проба золота; площади ореола золота рудных полей; среднеаномальные концентрации Au в геохимических ореолах; то же, для Ag, As, Sb; харак-

терные элементы первичных и вторичных ореолов; минералы руд; гравиметрические данные; магнитометрические данные; возраст оруденения.

Из общего числа признаков были исключены неинформативные и малоинформативные, не дающие существенного статистического перевеса в пользу той или иной группы объектов. На первом этапе отобраны 89 признаков, для которых такой статистический перевес составляет не менее 13% (перевес имеющихся в наличии признаков между группами — не менее 2, т.е. 3/1, 4/2 и т.д. (см. табл. 1).

После расчета суммы информационных весов (ΣSi) по всем объектам группы эталонных объектов разделились весьма четко. Для объектов группы I ΣSi оказалась заключенной в интервале 24,79–54,31 (среднее значение 37,15), для группы II — в интервале 33,73–11,7 (среднее значение -23,7).

Информационные веса отдельных минералов руд следующие: альбит, анкерит, аргентит, барит, буланжерит, висмут, висмут самородный, галлуазит, гематит, диксит, ильменит, киноварь, молибденит, сидерит, флюорит, фрейбергит, халькостибит, хлорит, цинкеит, каустолит — 1,41, рутил — 1,70, золото самородное пробы 700, вольфрамит, халькозин, эпидот — 1,79, бравоит, касситерит, леллингит, целестин, графит, виоларит, циркон, скуттерудит — 2,00, гидрослюда — 2,31.

Из пяти объектов экзамена четыре по величине ΣSi четко разделяются на группы. Два объекта группы I имеют ΣSi 26,90 и 43,24, два объекта группы II — 8,52 и 19,31. Для объекта величина ΣSi , равная 2,23, позволяет формально отнести его к группе II (к которой он действительно принадлежит), но не дает уверенности в результате. В целом вариант с учетом 89 признаков дает удовлетворительные результаты.

На следующем этапе количество признаков было сокращено до 26 путем отбора тех из них, для которых статистический перевес в пользу какой-либо группы составляет не менее 20% (т.е. перевес в три признака и более — 6/3, 4/1 и т.д.). В этом случае интервал значений ΣSi для группы I 6,01–27,35 (среднее значение 16,8), для группы II — -15,2–+4,86 (среднее значение 9,34). Хотя разрыв между крайними членами этих интервалов минимальный, все объекты экзамена при данных параметрах достаточно уверенно можно группировать. Два объекта группы I имеют значения ΣSi 14,70 и 30,46, три объекта группы II — 2,60, 0,69, -16,24. Таким образом, расчеты в варианте по 26 признакам дают также удовлетворительные результаты.

Выделенные признаки и их информационные веса сведены в табл. 1. Заслуживает внимания положительная корреляция информативностей таких

признаков, как присутствие в руде высокосеребристого самородного золота (тогда как высокопробное золото малоинформативно), аргентита и довольно высокие среднеаномальные концентрации серебра в ореолах. По-видимому, в целом участие серебра в рудообразовании характеризует крупный рудообразующий процесс.

Полученные данные могут использоваться для предварительной оценки масштабов оруденения на объектах золото-мышьяковисто-сульфидной формации. Их реализация предназначена для стадии поисковых работ и обоснования выбора объекта для постановки поисково-оценочных работ. Сокращенный вариант по 25 признакам рекомендуется для первой прикидки, более полный (по 89 признакам) — для повышения уверенности в результате при необходимости. Поиски способов оперативной оценки месторождений золото-серебряной формации осуществлены нами совместно с И.А.Чижовой [1].

При оценке золото-серебряного оруденения приходится последовательно или параллельно решать три взаимосвязанные задачи — определение возможных масштабов рудного поля, выделение в его пределах участка, в котором концентрируется промышленное оруденение, оценка параметров рудных тел.

Для выявления геологических признаков, позволяющих оценить возможные масштабы рудного поля, проанализированы данные по 12 золото-серебряным месторождениям (мелким, средним и крупным). Учтено 185 признаков, главные из которых — геотектонические позиции оруденения, рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры, состав вмещающих пород и магматических образований, морфология и строение рудных тел, гидротермально-метасоматические образования, текстуры и структуры руд, особенности процесса минералообразования. Анализ подготовленных данных выполнен в ИГЕМ по методике количественного прогноза рудоносности, разработанной Р.М.Константиновым [3]. Установлены геологические факторы, влияющие на масштаб золото-серебряного оруденения, и определены их информационные веса (рис. 1).

Выявлены следующие факторы, способствующие образованию крупных месторождений, и их разделяющие веса: региональные структуры (области тектонической активизации) — 0,063; эпикратонные вулканические пояса и сводовые поднятия — по 0,082; рудоконтролирующие структуры (брахиантиклинали), рудовмещающие структуры (участки с открытой линейной складчатостью, осевые зоны и шарниры складок) — по 0,056; рудоконтролирующие грабен-синклинали (грабены) —

1. Информационные веса разделительных признаков

Признаки	Информационные веса
1	2
<i>Региональные геологические структуры</i>	
Орогенные системы геосинклиналей фемического профиля	-4,00
Орогенные системы геосинклиналей сиалическо-фемического профиля	2,31
<i>Состав пород субстрата</i>	
Терригенный	2,00
<i>Структуры рудных районов и узлов</i>	
Антиклинорные зоны, горст-антиклинали	2,83
Синклинорные зоны, грабен-синклинали	-2,00
Сводовые поднятия, их секториальные блоки	-2,00
Купольные поднятия	-1,41
<i>Геологические формации, слагающие рудное поле</i>	
Андезитовая, андезито-базальтовая	-2,00
Спилито-кератофировая	-2,00
<i>Структуры рудных полей</i>	
Брахiantiклинали, штамповые антиклинали	2,00
Вулкано- и интрузивно-купольные поднятия	-2,00
Крупноамплитудные разломы типа сбросов и сбросо-сдвигов	-1,79
Крупноамплитудные разломы типа надвигов	-2,00
Межпластовые, межформационные срывы	2,00
Крупные зоны брекчирования малоамплитудные	1,70
Контакты пород, контрастных по физико-механическим и химическим свойствам	-1,70
Сопряжения и пересечения разломов	1,41
<i>Морфология и условия залегания рудных тел</i>	
Жилы секущие	-2,83
Жильные зоны	1,15
Зоны прожилково-вкрапленной минерализации	1,41
Линзы и неправильные тела	2,00
<i>Площадь рудных полей по геологическим контурам, км²</i>	
<20	-1,41
20–40	-2,00
>60	2,83
<i>Магматические породы, распространенные в пределах рудного поля</i>	
Кварцевые диориты	-2,00
Дайки лампрофиров	1,41
<i>Вмещающие породы</i>	
Аргиллиты	-2,00
Известняки	-1,79
Кварциты	-2,00
Покровы эффузивов среднего и основного составов	-2,00
Гранитоидные интрузивы	-1,41
Дайки кислого состава	-2,00
<i>Минералы гидротермально измененных пород</i>	
Апатит	-2,00
Гидромусковит	-2,00
Гидрослюды	-1,70
Гипс	-2,00
Каолинит	-1,41
<i>Парагенезисы золота</i>	
Золото-кварцевый	1,21

Продолжение таблицы 1

1	2
<i>Проба золота, ‰</i>	
>900	1,21
750–900 (градации 600–700 и <600 оказались неинформативными признаками)	1,79
<i>Площадь ореола золоторудных полей, км²</i>	
<10	-1,41
50–100	2,00
<i>Среднеаномальные концентрации Au в геохимическом ореоле, г/т</i>	
0,001–0,009	-1,41
0,01–0,09	1,41
0,1 и более	2,82
100–1000 (градации 1–99 и >1000 неинформативны)	1,79
<i>Характерные элементы первичных и вторичных ореолов</i>	
Mo	-2,00
<i>Гравиметрические данные</i>	
Положение на склоне или замыкании отрицательной аномалии	1,41
<i>Магнитометрические данные</i>	
Положение в осевой части положительной аномалии	-1,79

0,061; межпластовые, межформационные срывы, унаследованные нарушения (долгоживущие разломы) — по 0,029; зоны расщепления, комбинации пологих и крутопадающих разрывов, системы пологих разрывов — по 0,047; рудовмещающие структуры (системы радиальных разрывов) — 0,077; контакты пород с различными физико-механическими свойствами и составом — 0,038; участки с малой проницаемостью пород надрудной толщи — 0,103.

Рудные тела, залегающие в экзоконтакте интрузива, имеют разделяющий вес 0,037, жильные зоны как морфологический тип рудных тел — 0,063, минерализованные зоны дробления — 0,041, трубообразные тела — 0,192, зональность рудовмещающих структур, хорошо проявленная по вертикали, — 0,123, горизонты песчаников в разрезе рудовмещающих пород — 0,061, покровы андезитов и их туфов, субвулканические тела андезитов и андезитодацитов — по 0,028, гранитоидные интрузивы — 0,082. Околорудные изменения в виде отчетливо проявленной карбонизации характеризуются разделяющим весом 0,042; наличие более одной продуктивной стадии минерализации — 0,019; глубина формирования <0,5 км — 0,039; миоценовый возраст оруденения — 0,071; преобладание сбросовых подвижек и значительные амплитуды перемещений по рудовмещающим разломам (>50 м) — по 0,060; сочетание выполнения полостей и метасоматического замещения при рудоотложении — 0,036; рудоотложение, сопровождающееся эксплозиями, — 0,046, инъекционными процессами — 0,047.

Из факторов, влияющих на появление мелких месторождений, наиболее существенны: вулканические пояса (системы островных дуг) — 0,172; рудоконтролирующие структуры (сочленения разломов) — 0,069; рудовмещающие структуры (сложные разрывы) — 0,054; жилы как ведущий морфологический тип рудных тел — 0,103; значительный эрозионный срез — 0,075; субвулканические тела трахилипаритов — 0,071; околорудные изменения в виде пропилитизации — 0,038; основные тектонические деформации (дорудные) — 0,081.

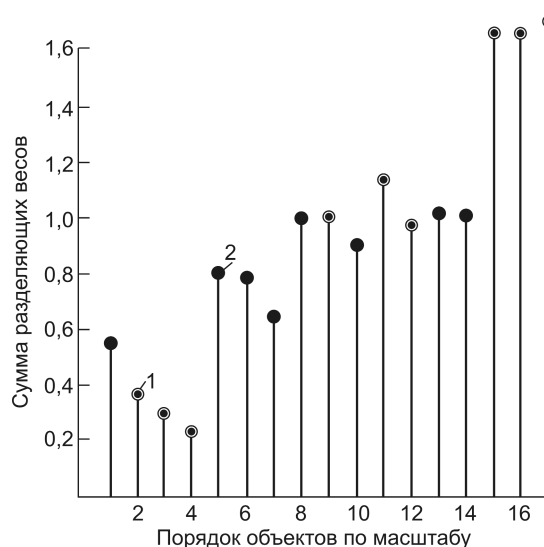


Рис. 1. Разделяющие веса признаков объектов различного масштаба:

1 — объекты, выбранные в качестве эталонов, 2 — для контроля

2. Соотношения рудоносных площадей

Рудное поле	Площадь рудного поля (S_1), км ²	Площадь рудоносного участка (S_2), км ²	S_1/S_2
1	90	10	1:9
2	40	4	1:10
3	70	10	1:7
4	14	2	1:7
5	40	3	1:13
6	120	20	1:6
7	25	4	1:6
8	16	4	1:4
9	8	2	1:4
10	8	2	1:4
11	16	1	1:16
12	35	5	1:7
13	60	7	1:9
14	40	4	1:10
Среднее			1:7

Вес любого объекта, определяющий его масштаб, подсчитывается по следующему алгоритму. Сначала описывается объект по предлагаемой системе, т.е. устанавливается наличие или отсутствие каждого признака системы. Затем на исследуемом объекте определяется наличие признаков, характерных для крупных месторождений, и отсутствие признаков, свойственных мелким месторождениям. Суммируются веса выделенных признаков. Эта сумма и будет весом объекта, по которому определяется его принадлежность к мелким, средним или крупным месторождениям. Для месторождений группы I вес объекта составляет 0,3–0,8, группы II — 0,8–1,1, группы III — 1,1–1,8. Указанные признаки могут быть выявлены на подстанции детальных поисков без привлечения специальных исследований, а полученные ориентировочные оценки объекта могут служить контрольными при определении прогнозных ресурсов перспективной площади по категории P_2 .

Специфика локализации оруденения на золото-серебряных рудных полях состоит в том, что 70–90% всех запасов руд сосредоточены обычно на рудоносных участках, составляющих небольшую часть площади рудных полей. В табл. 2 приведены примерные данные об общей площади рудных полей и площади рудоносных участков, в которых концентрируются промышленные запасы руд. Среднее соотношение, выведенное из имеющихся данных, может, по-видимому, служить площадным коэффициентом рудоносности при оценке новых прогнозируемых рудных полей.

Сформулируем некоторые общие моменты, определяющие позицию рудоносных участков,

пригодных к использованию при крупномасштабном прогнозе.

1. Аномальность в истории развития участков. Это стабильные и воздымавшиеся блоки на фоне формирующихся отрицательных структур или локальные депрессионные структуры в пределах купольных поднятий.

2. Приуроченность к блокам пород, резко отличающимся по физико-механическим и химическим свойствам, т.е. к литологическим неоднородностям в пределах рудного поля.

3. Наличие структурных неоднородностей рудного поля — осложнение общего плана поперечными разрывными деформациями, системами даек, появление дополнительных складок и т.п.

При прогнозной оценке рудных тел, основанной на структурных признаках, следует учитывать, что промышленное оруденение, локализованное в вулканогенном ярусе, обычно не переходит в его основание. Подошва вулканогенного яруса служит нижней границей развития руд. Протяженные рудные тела распространяются на большую глубину. На рис. 2 приведены данные по протяженности и вертикальному интервалу оруденения для ряда месторождений. Соотношение протяженности рудных тел и их вертикального интервала варьирует от 3:1 до 0,85:1. Среднее соотношение протяженности рудных тел к их вертикальному интервалу составляет 2,2. При определении прогнозных ресурсов рудных тел, прослеженных в процессе детальных поисков, можно пользоваться соотношением 2,2 или усредненной эмпирической кривой, выведенной на основании имеющихся материалов. Данные по отдельным отечественным и зарубежным месторождениям показывают, что существует прямая зависимость между амплитудами перемещений по рудовмещающим разломам и вертикальными интервалами развития оруденения. В обобщенном виде можно принять, что для рудовмещающих разрывов с амплитудами от десятков до 100 м вертикальный интервал оруденения <300 м, при амплитудах 100–200 м — 300–600 м, >200 м — до 600 м и более. Указанные способы оперативной оценки объектов позволяют максимально использовать геологические данные, что способствует получению более обоснованного заключения о перспективах рудопоявлений на ранних стадиях геологоразведочных работ.

На следующем этапе исследований стояла задача создания общей базы данных по золоторудным месторождениям России и мира. В настоящее время база фактографических данных содержит описание 247 золоторудных месторождений мира в системе 894 признаков, объединенных в 26 групп (табл. 3).

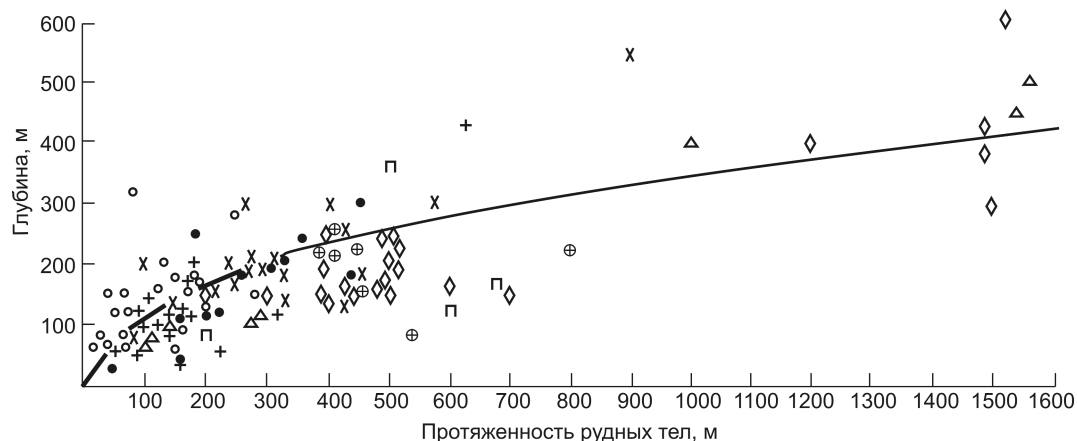


Рис. 2. График соотношения протяженности и вертикального интервала рудных тел золото-серебряных месторождений:

разными точками обозначены данные по отдельным месторождениям

3. Структура фактографической базы данных золоторудных месторождений

Группа признаков	Название группы признаков
1	Региональные геологические структуры, определяющие размещение золоторудных провинций
2	Структуры рудного района и узла
3	Геологические формации, слагающие рудное поле
4	Складчатые структуры рудных полей и месторождений
5	Разрывные и блоковые структуры рудных полей и месторождений
6	Элементы структур, контролирующие положение наиболее крупных рудных тел и рудных столбов
7	Морфология и условия залегания рудных тел
8	Рудовмещающие породы
9	Фации метаморфизма вмещающих пород
10	Формации и фации околорудных метасоматитов
11	Минералы гидротермально измененных пород
12	Минералы руд
13	Парагенезисы золота в рудах
14	Геохимические ассоциации золота
15	Текстуры руд
16	Проба золота
17	Размерность золота
18	Возраст рудовмещающих пород
19	Возраст оруденения
20	Характерные элементы первичных и вторичных геохимических ореолов
21	Геофизические аномалии (позиция в гравиметрическом поле)
22	Геофизические аномалии (позиция в магнитном поле)
23	Геолого-промышленные параметры
24	Параметры геохимических ореолов
25	Наличие в руде примесей и попутных компонентов
26	Координаты месторождений. Источник информации

И.А.Чижова [5] на основе этой базы разработала автоматизированную компьютерную систему «Аналог», позволяющую найти ближайшие аналоги опознаваемого перспективного объекта, коэффициент их сходства и те основные признаки, которые несут основные элементы сходства. Таким образом, делается шаг как в определении ведущих поисковых критериев и признаков объекта (структурных, минералогических, геохимических), так и возможных его параметров, исходя из масштабов объекта-аналога. Апробация созданной системы показала и некоторые слабые стороны, а именно существенные различия в строении некоторых близких по коэффициенту сходства месторождений. Стала очевидной необходимость создания графической составляющей базы данных.

Перефразируя известное выражение «язык инженера — чертеж», можно сказать, что «язык геолога — карта». Основа для графической базы данных содержится в ряде сводных атласов многофакторных моделей и региональных монографий по объектам. Наиболее полноценным представляется атлас «Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра северо-востока России (1992)», в создании которого приняли участие специалисты, непосредственно изучавшие месторождения. При характеристике каждого месторождения в атлас включен следующий набор графики:

позиция рудного поля в региональных структурах;

позиция рудного поля в гравиметрических полях;

позиция рудного поля в геохимических полях;

геолого-структурная схема рудного поля;

схема метаморфической и метасоматической зональности;

выражение рудного поля в геофизических параметрах;

комплексная модель рудной зоны – рудного тела;

морфология рудных тел;

схема стадийности минералообразования;

характеристика золота в рудах;

технологическая схема обогащения руд;

модель рудообразования.

Предполагается, что установление объекта-аналога будет завершаться выводением на экран графической базы данных. Пользователь такой системы сможет получать конкретную информацию по критериям прогноза, поисков и оценки нового объекта, оптимальные способы оперативной его оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов М.М., Чижова И.А. Способы оперативной оценки золото-серебряного оруденения // Разведка и охрана недр. 1983. № 11. С. 15–18.
2. Константинов Р.М. Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1966.
3. Константинов Р.М. Математические методы количественного прогноза рудоносности. – М.: Недра, 1980.
4. Савинский И.Д. Некоторые вопросы алгоритмов распознавания образцов при решении геологических задач и описание алгоритмов «Потенциал» и «БР» // Математические методы в геологии. М., 1974. Вып. 1. С. 5–16.
5. Чижова И.А. Технология создания информационно-аналитических систем для прогнозно-металлогенических исследований // Проблема рудообразования. М., 2004. С. 524–533.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.3/4:553.2

© А.И.Гусев, Н.И.Гусев, 2012

ПОЛИХРОННОЕ КОМПЛЕКСНОЕ Cu-Bi-Co-Ni-W МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАРАКУЛЬ ГОРНОГО АЛТАЯ

**А.И.Гусев (Алтайская государственная академия образования им. В.М.Шукшина, г. Бийск),
Н.И.Гусев (ВСЕГЕИ Роснедра Минприроды России)**

Получены новые данные по вещественному составу руд комплексного месторождения Каракуль. Определен абсолютный возраст интрузивных комплексов. В лежащем боку Западной рудной зоны установлены прожилково-вкрапленные сульфидные руды, содержащие никелевые (хлоантит, герсдорфит, аннабергит) и редкоземельные (ортит и монацит) минералы. Возраст никель-кобальтовой минерализации определен в 303 млн. лет. Рудообразование протекало при снижении давлений и температур от 510 до 150°C.

Ключевые слова: магматизм, комплексное месторождение, руды, метасоматиты, никель, кобальт, редкие земли, ортит, монацит, запасы.

Гусев Анатолий Иванович, Гусев Николай Иванович, anzerg@mail.ru

POLYCHRONIC COMPLEX CU-BI-CO-NI-W DEPOSIT KARAKUL OF THE MOUNTAIN ALTAI

A.I.Gusev, N.I.Gusev

A new data on material composition of ore complex deposit Karakul of Mountain Altai received. The absolute age of intrusive complexes defined. Stringer-disseminated sulfide ores arranged in the footwall of Western ore zone that they contain minerals of nickel (chloantite, gersdorffite, annabergite) and rare earth element minerals (orthite, monozite). Age of nickel-cobalt mineralization defined in 303 mll. years. Formating of ore happened for decresing of temperature from 510 to 150°C.

Key words: magmatizm, complex deposit, ores, metasomatites, nikel, cobalt, rare earth elements, orthite, monazite, assay value.

Каракульское месторождение локализовано в зоне контакта терригенных образований барбургазинской и богутинской свит, прорванных гранитоидами юстыдского комплекса (D_3-C_1), дайками долеритов и долеритовых порфиринов караюкского и терехтинского мезозойских комплексов (рис. 1). Дайки караюкского комплекса широко распространены к югу от месторождения в междуречье Барбургаза–Караюк и представлены долеритовыми порфиритами, андезибазальтами, реже андезидацитовыми порфиритами и риолитами. К этому комплексу относится дайка долеритового порфирита, вскрытая на поверхности канавой 40 в центральной части месторождения и на горизонте штольни южным штреком. Рассечками и скважинами дайка прослежена в западном направлении на 40 м без признаков выклинивания. Ее мощность ~3 м, контакты с вмещающими породами четкие вертикальные, ориентировка широтная.

В Юстыдском рудном узле с учетом последних изотопно-геохронометрических данных [3] дайки долеритов караюкского комплекса предшествуют широко проявленному гранитоидному магматизму.

По возрасту $375,1 \pm 5,4$ млн. лет (SHRIMP-II) они не отличаются от гранитов юстыдского комплекса ($375,4 \pm 5,5$ млн. лет). Последние относятся к восстановленному анорогенному (внутриплитовому) типу ортитовых гранитов (ильменитовая серия), к метаклиноземистой и слабеперглиноземистой железистой высококалиевой известково-щелочной серии.

Для даек слюдяных лампрофиров по данным Ar-Ar возраста [6] выделяются два этапа формирования: ранний с возрастом $243 \pm 3,7$ млн. лет, поздний с возрастом $236,9 \pm 2,8$ и $234,6 \pm 3,1$ млн. лет. Для даек раннего этапа в районе серебряно-сурьмяного месторождения Асгат U-Pb методом получен возраст по цирконам (SHRIMP-II) $250,8 \pm 4,5$ млн. лет (граница перми и триаса).

Для даек долеритов, прорывающих граниты юстыдского комплекса, конкордантный возраст по цирконам (три точки) U-Pb методом (SHRIMP-II) составил $210,7 \pm 5,4$ млн. лет ($MSWD=0,0034$, probability (of concordance)=0,95) [3]. Постгранитные базитовые дайки рассматриваются нами в отрыве от вмещающего Юстыдского гранитного массива в качестве производных самостоятельного позднетриас-

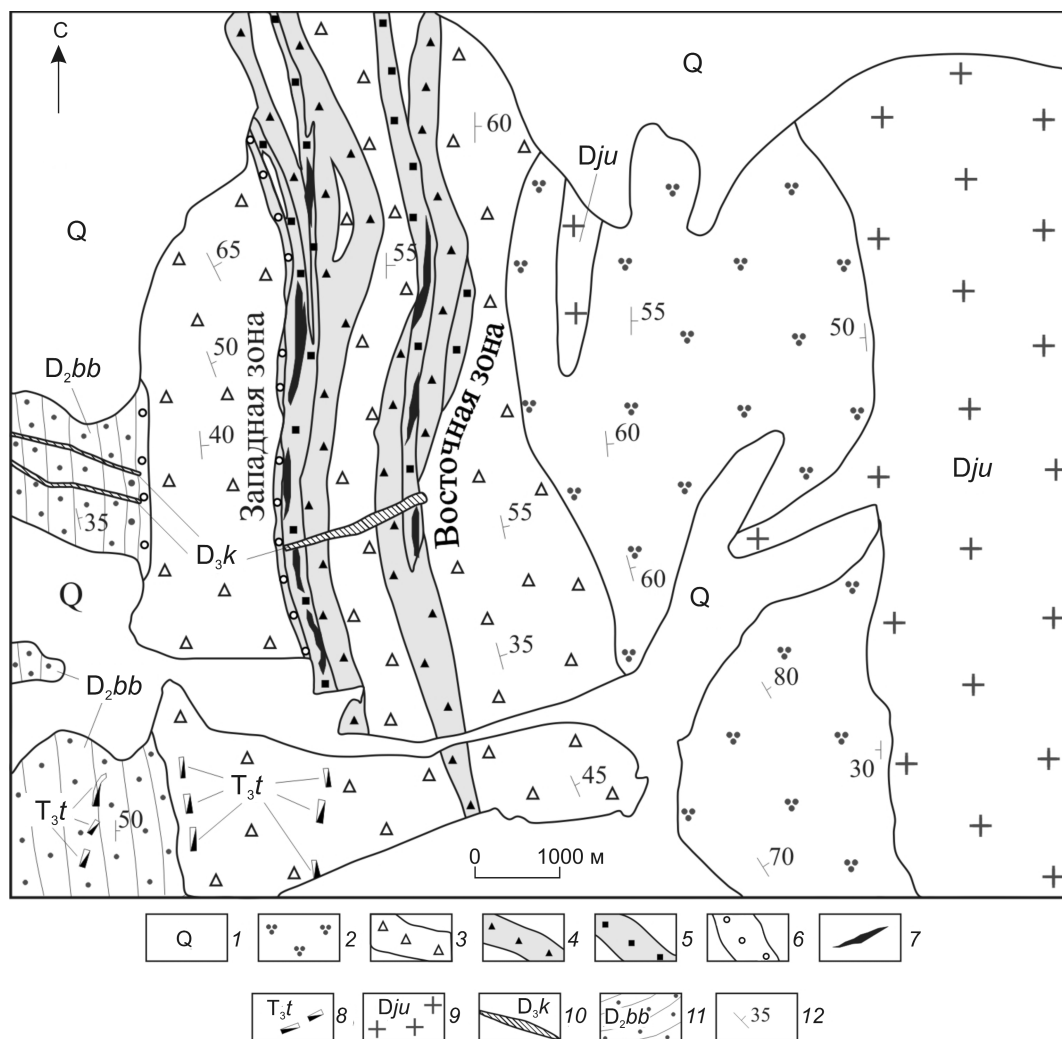


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Каракульского месторождения, составлена с использованием материалов В.А.Говердовского [1]:

1 — нерасчлененные образования квартера; 2 — породы амфибол-роговиковой фации; 3 — породы мусковит-роговиковой фации; 4 — турмалинизированные породы; 5 — рудовмещающие кварц-турмалиновые метасоматиты; 6 — кварц-апатит-биотитовые метасоматиты с никелевой минерализацией; 7 — рудные тела с кобальтовым и никелевым оруденением; 8 — дайки долеритов терехтинского комплекса; 9 — гранитоиды юстыдского комплекса; 10 — дайки караюкского комплекса; 11 — неизмененные осадочные породы барбургазинской свиты; 12 — элементы залегания пород и падения контактов гранитного массива

сово-юрского комплекса. По изотопному составу Nd и Sr для долеритов догранитного комплекса ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0,1242$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0,512851$; $\epsilon\text{Nd}(0)=+4,2$; $\epsilon\text{Nd}(T375)=+7,6$; $\epsilon\text{Sr}(T375)=-3,64$) и постгранитного комплекса ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0,1256$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0,512994$; $\epsilon\text{Nd}(0)=+6,9$; $\epsilon\text{Nd}(T210)=+8,9$; $\epsilon\text{Sr}(T210)=+39,82$) определен мантийный источник типа PREMA [3].

В пределах рудной зоны породы претерпели интенсивные околорудно-метасоматические изме-

нения, которые выразились в турмалинизации, окварцевании, сульфидизации, хлоритизации, наличии карбонатных и железисто-карбонатных прожилков и жил. Наиболее четко выражены рудо-контролирующие разрывные нарушения субмеридионального направления, падающие обычно под углами 40–80° на восток и представляющие собой системы сближенных зон дробления интенсивной трещиноватости. На месторождении выделяются несколько рудных зон. Наиболее перспективна

Западная протяженностью >3,5 км. Глубина распространения оруденения достигает 500 м. В 300 м к востоку от Западной находится Восточная зона. Менее изучены Малахитовая, Юго-Западная и Северо-Восточная зоны.

Западная рудная зона представлена серией сближенных субпараллельных зон дробления, интенсивной трещиноватости и гидротермально-метасоматической проработки пород. Мощность зон дробления колеблется от первых до 30 м, протяженность до 1500 м. Падение их в целом восточное под углами 50–75°.

Пластообразные рудные тела прослежены по простиранию на 100–140 м, по падению на 160 м. Мощность их колеблется от десятков сантиметров до 2–2,5 м. Руды, их слагающие, характеризуются густовкрапленной брекчиевидной текстурой и мелко-, тонкозернистой структурой. В составе руд преобладают пирит и пирротин, образующие сплошные массы с включениями вмещающих пород. Сульфиды железа сопровождаются светло-серым и серым полупрозрачным кварцем в виде вкрапленности и гнезд. Размеры зерен от долей до 4–5 мм. Размеры гнезд кварца до 1,5–2 см, иногда более. В пирит-пирротиновой массе различаются халькопирит, глаукодот, кобальтин, арсенопирит, шеелит. Эти минералы присутствуют в виде редких тонких (от долей до первых миллиметров) коротких ветвящихся прожилков, мелких гнезд, вкрапленности. Распределение рудных минералов неравномерное. Иногда встречаются прожилки более позднего пирита, выполняющего трещины в пирит-пирротиновой массе и обладающего более совершенными кристаллографическими формами (кристаллы до 1,5 мм). Под микроскопом массивные руды имеют петельчатую, зернистую, аллотриоморфнозернистую, иногда зонально-колломорфную структуру.

Процентное соотношение рудообразующих минералов таково: пирротин (от первых до 90), пирит (от первых до 70), марказит (до 25), глаукодот (от долей до 10), халькопирит (до 15–20), арсенопирит (до 20), кобальтин (до 1–2). В количестве <1% постоянно присутствуют висмутин, самородный висмут, шеелит, халькозин, ковеллин, гётит-гидрогётит. Иногда встречаются сфалерит, вольфрамит, борнит.

На месторождении выявлено около 30 рудных тел мощностью от 1 до 23 м, протяженностью до 700 м. Рудные тела представлены тектоническими брекчиями терригенных пород, сцементированных хлорит-турмалин-кварцевым агрегатом. Полезными компонентами, кроме Co, Bi, Cu, W, являются также Au, Ag.

В процессе поисковых работ в Западной зоне установлены 24 крутопадающих (50–70°) рудных тела горизонтальной мощностью от 1 до 23 м (средняя 5,1 м) с содержанием (%) Co от 0,03 до 0,48 (среднее 0,21), Bi от 0,02 до 0,36 (среднее 0,11), Cu от 0,08 до 1,3 (среднее 0,56), WO₃ от 0,01 до 0,31 (среднее 0,12). Среди тел обособляются следующие морфологические типы.

Пластообразные тела вскрыты на горизонте 2576,6 м стволом штольни, а также штреками Северный и Южный. Они имеют постепенные переходы через зону прожилкования и вкрапленности во вмещающие породы. Отмечаются также и резкие контакты с вмещающими породами, обусловленные трещинной тектоникой.

Из нерудных минералов в массивных рудах преобладают слюды, кварц, турмалин, хлорит, полевые шпаты. Встречаются также актинолит, апатит, сидерит.

Участки прожилкового оруденения слагают рудные тела второго морфологического типа. Протяженность их по простиранию ~400 м, мощность от 1–2 до 5–10 м. Они обрамляют пластообразные рудные тела как по простиранию, так и по падению и являются как бы их продолжением. Руды сложены многочисленными жилами и прожилками пирит-пирротинового состава мощностью от долей миллиметра до 10–15 см. Протяженность их по простиранию от десятков сантиметров до нескольких метров. При сгущении тонких прожилков они иногда образуют штокверки. Границы участков прожилкового оруденения нечеткие и характеризуются постепенным уменьшением количества рудных прожилков в направлении экзоконтакта.

Минеральный состав прожилковых руд такой же, как у массивных руд, отличается лишь количественным соотношением минералов и текстурно-структурными особенностями. Здесь отмечаются прожилковая, брекчиевая, вкрапленная текстуры и мелкозернистая структура.

Участки вкрапленных руд слагают рудные тела третьего типа. Они наименее изучены из-за схожести с вмещающими породами и выявление их затруднительно. Макроскопически это ороговикованные алевролиты и песчаники или турмалин-кварцевые метасоматиты, содержащие тонкую, иногда с трудом различимую вкрапленность рудных минералов (~15–20%). Они распространены в основном в виде оторочек вокруг прожилковых и массивных руд и имеют мощность от первых десятков сантиметров до первых метров. Внешние их границы представлены постепенными переходами к вмещающим породам и устанавливаются лишь по результатам анализа проб. Протяженность по про-

стиранию участков таких руд не установлена. Наиболее интенсивная вкрапленная минерализация выявлена в кварцшале 3 (интервал 19,6–23 м).

Именно во вкрапленных рудах нами обнаружены ранее не изученные кварц-апатит-биотитовые метасоматиты и прожилково-вкрапленное никель-арсенидное оруденение. В составе метасоматитов и прожилково-вкрапленных руд значительно распространены редкоземельный апатит, в ассоциации с которым отмечается вкрапленность ортита и редко монацита. Эта ассоциация минералов является также новым типом редкоземельной минерализации. Тесная пространственная связь указанных метасоматитов и руд свидетельствует о близкоодновременном их образовании.

Восточная рудная зона протяженностью 2,2 км, общей мощностью до 120 м по строению аналогична Западной. С поверхности изучена канавами, на глубину — единичными скважинами. Неокисленные руды пересечены лишь одной скв. 37. Морфология рудных тел аналогична таковой Западной зоны. Однако минеральный состав руд несколько отличается. Кроме характерных для Западной зоны пирротина, пирита, марказита, халькопирита, глаукодота, кобальтина и других минералов, в Восточной зоне более заметную роль играют сфалерит и галенит. Содержание рудных минералов достигает 40–50%. По скв. 37 содержание Co 0,30, Bi 0,23, Cu 0,28%.

Малахитовая, Юго-Западная и Северо-Восточная рудные зоны опробованы отдельными маршрутами и единичными канавами. В зоне окисления в их пределах установлены повышенные концентрации редких и благородных металлов.

Зона окисления. В пределах месторождения зона окисления первичных руд развивается на глубину до 50–60 м от поверхности. Продукты окисления представлены минералами, характерными для зон вторичного сульфидного обогащения, — ковеллином, халькозином, лимонитом, борнитом, малахитом и др. В окисленных рудах содержания полезных компонентов на порядок меньше, чем в неокисленных, в связи с чем они не представляют практического интереса на Co, W, Cu, Bi. Однако кора выветривания требует переопробования на предмет выявления нетрадиционного редкоземельного оруденения, связанного с корами выветривания по гранитоидам и вулканитам, содержащим их повышенные концентрации. В зоне окисления возможно также развитие линейных кор выветривания, которые формируются по гидротермальным образованиям и метасоматитам с изначально высокими концентрациями РЗЭ. К таковым, по-видимому, относятся линейные коры выветривания по руд-

ным зонам месторождения Каракуль, где развиты редкоземельные апатит, монацит, ортит. По трем пробам, отобраным из средней части глинистой коры выветривания, содержания Y составляют 0,3, 0,2 и 0,6%.

Зона окисления развита не повсеместно. Наиболее ярко она проявлена на возвышенных участках рельефа и практически отсутствует в пределах отрицательных форм рельефа, заполненных, как правило, моренными замороженными отложениями криолитозоны.

До последнего времени считалось, что основными метасоматитами являются турмалиниты. Однако работами авторов установлено, что до турмалинитов сформировался более ранний метасоматический агрегат — кварц-биотитовый, который парагенетически связывается с догранитными дайками долеритов караюкского комплекса [2].

Наиболее ранний дорудный *кварц-биотитовый агрегат* представлен преимущественно типоморфными для этого агрегата кварцем и биотитом, с которыми в переменных количествах ассоциируют хлорит, актинолит, тремолит, альбит, апатит-1. Местами отмечаются единичные выделения турмалина и сфена. В брекчиевых рудах на контактах обломков измененных алевролитов и цемента, представленного различными жильными минералами, кристаллизуются преимущественно биотит, тремолит, актинолит или хлорит в ассоциации с альбитом и кварцем-1. По характеру границ зерен и коррозионным взаимоотношениям индивидов последовательность кристаллизации минералов представляется такой: кварц-1 → (биотит, актинолит, тремолит) или хлорит, альбит в ассоциации с апатитом-1 и турмалином-1.

Кварц-1 образует изометричные зерна размером от 0,1 до 0,5 мм гетерогранобластовой микроструктуры или стебельчатые выделения размером от 0,02×0,2 до 0,05×0,6 мм. Как правило, ранний кварц несет следы дробления, давления, обладает волнистым и блоковым погасанием, часто содержит обильные газово-жидкие включения размером в несколько десятков микрометров, отчего поверхность зерен кажется «запыленной». Местами в составе сложных включений отмечаются не идентифицированные твердофазовые включения. Кварц-1 корродируется биотитом, актинолитом, тремолитом, апатитом, турмалином. При этом изредка в нем присутствуют удлиненно-призматические выделения турмалина ранней генерации.

Биотит образует чешуйчатые выделения размером от 0,1 до 2 мм с совершенной спайностью, заметно плеохроирующие от почти бесцветных до светло-зеленоватых. Местами чешуйки биотита об-

1. Минеральный состав руд месторождения Каракуль, с учетом данных из работы [1]

Минералы	Рудные	Нерудные	Гипергенные
Главные	Пирит трех генераций, пирротин, халькопирит двух генераций, чатамит, хлоантит*, герсдорфит*, аннабергит*, данаит, глаукодот	Кварц четырех генераций, хлорит двух генераций, серицит, турмалин двух генераций, актинолит, тремолит*, биотит	Малахит, ковеллин, маарказит, лимонит, ярозит*, гипс*
Второстепенные	Вольфрамит*, шеелит, висмутин, никелин, лёллингит, пентландит, шмальтин*, сфалерит, галенит	Альбит, ортоклаз*, микроклин*, кальцит, сидерит, доломит*, эпидот*, цоизит*, скаполит*	Гидрогётит, гётит, азурит, эритрин, скородит, каолинит, брошантит*, борнит, халькозин*, сидеротил, роценит, халькантит, галлуазит, морденит*, шабазит*
Редкие	Блеклые руды, раммельсбергит, скуттерудит*, касситерит, магнетит*, энаргит*, виоларит*, арсенопирит*, самородный висмут*, борнит*, монацит*, линнеит*, ортит*, сфен, анна-таз*, циркон*	Анкерит, апатит двух генераций, барит, флюорит*, гидрослюда, пренит*, флогопит*, микроклин-пертит*, мицционит*	Куприт, ссомольнокит, тодорokit

*Минералы, впервые установленные авторами в рудах месторождения.

разуют анхимономинеральные скопления размером до 1 см. Нередко среди чешуек биотита отмечаются единичные выделения сфена размером до 0,01×0,06 мм и более частые удлиненно-призматические кристаллы апатита размером до 0,1×1,5 мм. Отчетливо видна коррозия биотита апатитом. Иногда содержание апатита может достигать 1–4% по объему.

Биотит хлористый и в зависимости от ассоциации с различными арсенидами никеля отражает различную кислотность среды кристаллизации. Так, в ассоциации с хлоантитом и герсдорфитом кислотность среды минералообразования была низкой, щелочность (потенциал ионизации биотита составлял 184 условных единицы, что способствовало повышению значения Al^{VI} в октаэдрической позиции биотита до 0,56) достаточно высокой. В ассоциации с никелевыми арсенидами с участием аннабергита кислотность среды минералообразования резко повышалась (потенциал ионизации биотита достигал 189,1 усл. ед. с одновременным снижением доли Al^{VI} в октаэдрической позиции слюды до 0,16). Следует отметить существенно фтористый состав апатита, что повышает его «емкость» на содержание редких земель.

Вещественный состав руд. На месторождении установлены пять типов руд: кварц-apatит-хлоантит-герсдорфит-аннабергитовый, кварц-альбит-шеелитовый, кварц-хлорит-кобальтиновый, кварц-

халькопирит-пирротинный, серебро-сурьмяный сульфосольный. Весь набор рудных и жильных минералов месторождения сведен в табл. 1.

К наиболее раннему рудному этапу относится *кварц-apatит-хлоантит-герсдорфит-аннабергитовый агрегат* в ассоциации с турмалином-2, биотитом, апатитом-2, в виде прожилковидных обособлений и прожилков, секущих минералы дорудных метасоматитов кварц-биотитового состава. Иногда в этом агрегате присутствуют калиевый полевой шпат, биотит, ортит и монацит. Последовательность минералообразования следующая: (apatит-2, турмалин-2)→кварц-2→сульфиды (хлоантит, герсдорфит, аннабергит, пирит-1). Апатит-2 в отличие от ранней генерации образует зерна с изометричными сечениями размером 0,1–0,3 мм, которые корродируются и пересекаются пиритом в виде тонких прожилков. Пирит в таких прожилках сливной тонкокристаллический, «шариковый» микроструктуры, не образует отдельных кристаллов. Чаще всего апатит отмечается в контакте прожилков сульфидов описываемого агрегата с дорудным или на продолжении прожилков сульфидов среди минералов дорудного агрегата.

Турмалин-2 наблюдается в виде изометричных зерен размером 0,05–0,1 мм. Как и апатит, он фиксируется на продолжении выклинивающихся прожилков сульфидов.

Кварц-2 кристаллизуется в виде мелких выделений размером 0,02–0,08 мм внутри прожилков

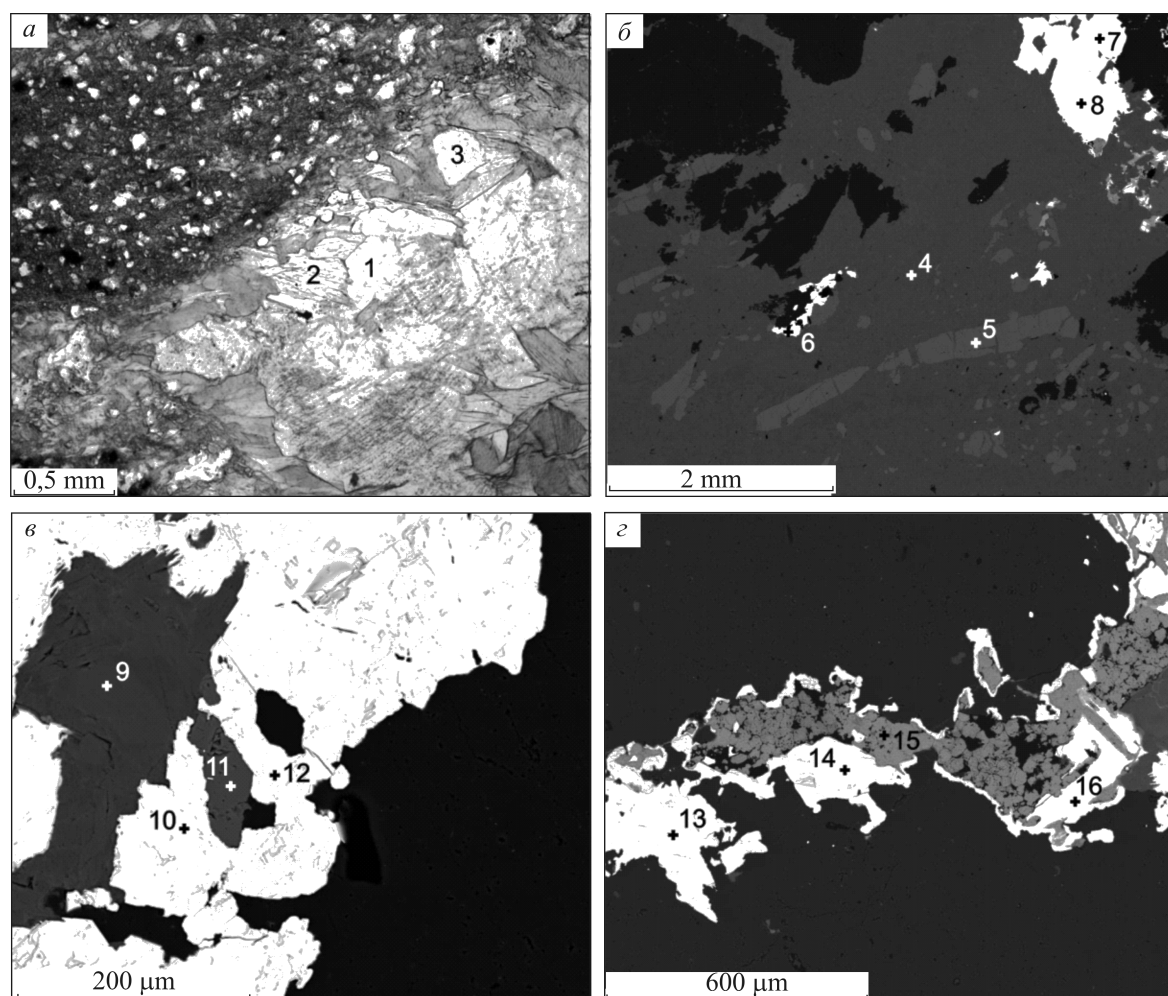


Рис. 2. Биотит-кварц-апатит-арсенидная кобальт-никелевая минеральная ассоциация:

а — фото шлифа 667-4 при $\parallel$ николях: 1 — кварц, 2 — биотит, 3 — апатит; *б, в, г* — фото в отраженном свете: серый матрикс — биотит (4), черные крупные включения — кварц, светло-серые удлиненно-призматические кристаллы — апатит (5), белые включения — хлоантит (6, 7), герсдорфит (8); включения биотита (9) и апатита (11) в герсдорфите (10, 12); хлоантит (16)-герсдорфитовый (13, 14) прожилок в центральной части с аннабергитом (15)

сульфидов. В отличие от кварца-1 он более «свежий», прозрачный с нормальным погасанием и содержит меньше газово-жидких включений.

Монацит образует единичные зерна на контакте кварца-2 и пирита-1. Размеры выделений монацита достигают 0,01 мм. Реже отмечен ортит с аналогичными размерами зерен.

Биотит встречается редко в виде отдельных чешуек размером до 0,2 мм в ассоциации с пиритом-1. Плеохроирует от светло-желтого до бурого.

В сложных зональных прожилках арсенидов никеля выделяется четкая последовательность кристаллизации минералов: хлоантит → герсдорфит → аннабергит (рис. 2, *г*). Хлоантит образует гипидиоморфные выделения размером от 0,2 до 1,2 мм,

нередко замещаемые сульфоарсенидами никеля. Герсдорфит корродирует кристаллы хлоантита и формирует аллотриоморфнозернистые агрегаты зерен размером 0,1–0,9 мм. Аннабергит локализуется в центре таких зональных прожилков и кристаллизуется в виде аллотриоморфных зерен размером от 0,3 до 1,3 мм. Химические составы никелевых минералов приведены в табл. 2.

Пиритовый агрегат характеризуется мелкими выделениями в тонком срастании с кварцем. Травление раннего пирита позволило выявить его «сферитовую» микроструктуру с размером округлых выделений $>0,1$ мм. Агрегат этого пирита визуально похож на пирротин, за который он ранее и принимался при документации руд. Диагностика его

2. Химические составы арсенидов никеля месторождения Каракуль, мас. %

Номера точек	6	7	16	8	10	12	13	14	15
Минерал	Хлоантит			Герсдорфит					Анна-бергит
Состав									
O	0	0	0	0	0	0	0	0	38,95
S	0	0	0	17,22	15,35	18,03	17,24	17,7	0
Fe	0,16	0	0	5,83	6,47	0,79	4,36	0	0
Co	0	0	0	0,63	1,33	0	0,4	0	0
Ni	45,77	44,84	43,94	27,51	25,46	33,85	28,93	34,33	26,82
As	51,72	53,12	51,08	50,08	48,33	39,75	46,85	41,89	22,42
Sb	1,45	1,58	1,83	0	0	3,98	0,64	4,17	0,59
Сумма	99,1	99,54	96,85	101,27	96,94	96,4	98,42	98,09	88,78

П р и м е ч а н и е. Составы минералов определены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instr.). Аналитик А.В. Антонов.

выполнена в лаборатории Санкт-Петербургского горного института на рентгеновском порошковом дифрактометре XRD-7000 («Shimadzu», Япония), показавшем четкие пики, отвечающие пириту. Пирротин образует скелетные анизотропные зерна размером до 0,25 мм, нередко — гетерогранобластовый агрегат мелких выделений неправильной формы размером 0,02–0,05 мм. В крупных выделениях пирротина отмечаются мелкие зерна пентландита (0,01–0,02 мм), виоларита, линнеита. Фазовым анализом установлено, что в пирротине присутствует 87% гексагональной и 13% моноклинной фаз.

Марказит развивается по пирротину, образует округлые выделения размером от 0,006 до 0,3 мм. Тесно ассоциирует с халькопиритом, пиритом, имеет микропластинчатую структуру.

В рудах определены следующие компоненты (мас. %): Cu 0,1–1,0, Ni 0,09–0,3, Co 0,03–0,3, Y 0,01–0,1, As 0,01–0,1.

Кварц-альбит-шеелитовый тип руд преобладает в зонах вольфрамовой минерализации и связан с микропрожилками, секущими турмалиниты. Шеелит в зернах размером 0,05–0,4 мм, редко до 1 мм тесно ассоциирует с кварцем. Он образует тонкую вкрапленность, реже нитевидные прожилки.

Следующий по времени кристаллизации *кварц-халькопирит-глаукоdot-кобальтиновый агрегат* образует прожилки и гнезда в раннем пирите и пирротине.

Кварц-3 прозрачен, имеет нормальное погасание, почти лишен газово-жидких включений и обнаруживается редко в краевых частях зерен халькопирита, кобальтина и глаукодота.

Халькопирит в зернах неправильной формы размером 0,002–0,5 мм содержит включения висмута, самородного висмута, глаукодота, редко пирротина. Рентгеноструктурным анализом установле-

но, что медный колчедан этой генерации представлен смесью двух модификаций (тетрагональной 85% и неупорядоченной кубической 15%).

Глаукоdot формирует идиоморфные, реже ксеноморфные зерна размером 0,02–0,9 мм. Нередки включения халькопирита. В метакристаллах глаукодота встречаются хорошо ограненные кристаллы кобальтина. Иногда в зернах глаукодота отмечают чешуйчатые включения самородного висмута.

Кобальтин в виде идиоморфных кристаллов размером 0,002–0,05 мм тесно сростается с глаукоdotом. Нередко образует вкрапленность в нерудной массе.

Висмутин и самородный висмут в зернах размером 0,03–0,1 мм неправильной и округлой форм слагают аллотриоморфные, ксеноморфные агрегаты. Оба минерала часто ассоциируют с халькопиритом.

Кварц-халькопирит-пирротин тип руд отвечает наиболее позднему этапу рудообразования. Руды представлены линзовидными и пластообразными телами, залегающими согласно с вмещающими терригенными породами. Линзы имеют длину 5–20 м, ширину 3–4 м, протяженность пластообразных тел сотни метров, мощность 0,8–10 м. Основные рудные минералы — пирротин (50–90%), пирит (12–15%), халькопирит (20–25%), а также арсенопирит, леллингит, аксессуарные — галенит, сфалерит, висмутин. Главные компоненты руд (%) — Cu 0,3–0,5, Co 0,02–0,1, Au, в качестве рассеянных элементов присутствуют Pb, Zn, Bi в количестве 0,01–0,001%. Кобальт в качестве примеси входит в состав арсенопирита и леллингита. Концентрация Au от 0,2 до 0,8 г/т, в верхней части арсенопиритовых руд — 3–5 г/т. Содержание Au в монофракции арсенопирита (по данным атомной абсорбции) составляет 440–480 г/т [5].

К заключительному этапу рудообразования на месторождении относятся кварц-карбонатные прожилки *серебро-сурьмяной минерализации* со сфалеритом, галенитом и сульфосолями Cu, Bi, Pb, Ag.

Исследованы два образца с вновь выявленной никель-арсенидной минерализацией. Установлено изменение состава флюида от высокоплотных флюидно-силикатных рассолов на ранней стадии до высококонцентрированных газовой-жидких водно-солевых растворов и водно-солевых растворов слабой концентрации на завершающей стадии. Наблюдается изменение кислотно-щелочных свойств флюида: кислотная (безрудная) стадия сменялась щелочной (рудообразующей), затем кислотной (безрудной) и снова щелочной (рудообразующей). Рудообразование происходило при снижении давления и температуры. Особенность изученных метасоматитов — высокие температуры как начальной ($>510^{\circ}\text{C}$), так и конечной ($\sim 300^{\circ}\text{C}$) стадий их формирования. Отсутствие газовой фазы во флюидных высокотемпературных включениях на начальной стадии и ее появление только на завершающей стадии также позволяет предположить высокое давление во флюиде при формировании метасоматитов. Рудообразование протекало при пульсационной смене условий сжатия условиями растяжения и увеличения пористости пород. Основными причинами рудообразования (формирования рудных метасоматических тел) служили в основном изменения кислотно-щелочных свойств флюидной проработки, что создавало повышенную пористость в породах на фоне снижающихся температур и давления.

Известны [4] результаты определения возраста Cu-Co-W руд месторождения Каракуль Ag-Ag методом по биотиту — $349,8 \pm 3,9$ млн. лет.

Нами из двух проб (667-1 и 667-4) апатит-амфибол-биотитовых метасоматитов с Ni-Co оруденением были отобраны по три монофракции апатита, амфибола и биотита. Rb-Sr изохрона получена только для пробы 667-1 по трем точкам: амфибол-apatит-вал с возрастом 303 ± 27 млн. лет, который может рассматриваться как ориентир времени формирования околорудных метасоматических пород. Причем Rb-Sr возраст, полученный нами для каракульских метасоматитов, совпадает с результатами Rb-Sr датирования гранитов Юстыдского массива, для которых, по неопубликованным данным Ю.Е.Вовшина, получена Rb-Sr четырехточечная (калишпат-биотит-плаггиоклаз-вал) изохрона 303 ± 14 млн. лет ($IR=0,7083 \pm 0,0013$, $MSWD=13$). По-видимому, тектонотермальное событие с возрастом ~ 300 млн. лет было настолько мощным, что перестроило Rb-Sr систему гра-

нитов Юстыдского массива, многочисленные определения возраста которых локальным U-Pb методом по циркону (SHRIMP-II) дают значения 375 ± 5 млн. лет.

Технологические исследования руд.

Проанализированы три малые технологические пробы (5, 6, 9). Руды месторождения Каракуль по минеральному составу и набору полезных компонентов являются комплексными. Содержания полезных компонентов следующие: Co 0,88, 0,2, 0,76%; Bi 0,37, 0,04, 0,32%; Cu 1,78, 0,05, 1,75%; WO_3 0,25, нет, 1,7%. Содержания (%) основных рудных минералов: халькопирит 4,8, 0,23, 4,4; глаукодит нет, нет, 3,5; кобальтин 1,43, 0,54, 0,5; висмутин и самородный висмут 0,58, единичные зерна, 0,4; шеелит 0,32, нет, 2,1; пирротин 12,86, 6,4, 0,8; пирит — марказит 8,9, 2,9, 4,0; кроме того, во всех трех пробах присутствуют Au (от 0,2 до 0,6 г/т) и Ag (10 г/т).

Обогащение руды проводилось гравитационным, флотационным, химическим методами. Намечена флотационная схема, включающая двухстадийное измельчение руды до крупности 93,2% класса $0,074+0$ мм, основную и контрольную флотацию сульфидов с последующими четырьмя перемывками черного продукта и селекцией коллективного концентрата на медно-висмутовый и мышьяково-кобальтовый концентраты. Из хвостов сульфидного цикла процессом основной контрольной флотации и соляно-кислотного выщелачивания был получен черновой вольфрамовый продукт. По данной схеме в замкнутом цикле получены:

медно-висмутовый концентрат с содержанием (%) Cu 27,04–27,82, Bi от 0,95 до 1,49, Co от 0,4 до 1,6, As от 0,4 до 2,05. Извлечение составляет соответственно (%) 84,9, от 10,3 до 26,3, от 3,3 до 11,8, от 0,8 до 7,2. По требованиям ЦМТУ 03-13-69 концентрат относится к марке «КМЗ» (концентрат медный третьего сорта);

мышьяково-кобальтовый концентрат с содержанием (%) Co от 2,12 до 9,19, As от 7,5 до 15,57, Cu от 1,5 до 2,77, Bi от 0,9 до 1,3 при извлечении соответственно (%) от 65,2 до 81,7, от 52,9 до 74,5, от 4,3 до 28,7, от 22,0 до 45,8. По требованиям ЦМТУ 3349-53 концентрат по содержанию Co относится к первому сорту. Сульфидные концентраты могут быть ценным сырьем для цветной металлургии;

вольфрамовый черновой продукт с содержанием триоксида вольфрама от 3,6 до 4,7% при извлечении от 43,2 до 72,6% и выходе от 2,4 до 32,4% будет направляться на доводочный завод для получения искусственного шеелита. Возможность получения золота и серебра, а также, никеля и ред-

ких земель из руд Каракульского месторождения не изучалась.

Запасы категории C₂ составили: Co 20 375 т (при среднем содержании 0,20%), Bi 14 416 т (0,14%), Cu 51,8 тыс. т (0,52%), WO₃ 11 040 т (0,11%), Co_{усл} 36 868 т, Au 1,245 т (0,47 г/т), Ag 4,629 т (5,2 г/т). Запасы Ni и TR из-за неизученности месторождения на эти компоненты не оценивались.

Таким образом, на месторождении Каракуль установлены высокотемпературные апатит-биотит-кварцевые метасоматиты с Ni-сульфоарсенидной и редкоземельной минерализацией и апатит-биотит-актинолитовые метасоматиты с Co-Bi-Te потенциально золотоносной минерализацией.

Имеющиеся единичные геохронометрические данные не дают оснований для уверенной корреляции определенных магматических событий с Ni-Co оруденением и требуют продолжения исследований. Rb-Sr возраст апатит-биотит-актинолитовых метасоматитов с Ni-Co арсенидной минерализацией составляет 303±27 млн. лет. Формирование Cu-Ni-Co оруденения месторождения Каракуль в Юстыдском рудном узле по возрасту близко ко времени функционирования Таримского плюма (292–275 млн. лет), с которым связывается образование месторождений никеля в Иртышской зоне сматия: Колотонк (305±15 млн. лет) в Китае и Максут в Восточном Казахстане [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Говердовский В.А., Третьякова И.Г.* Геологическое строение, магматизм и металлогения Юстыдского рудного узла Алтая. – Горно-Алтайск, 2011.
2. *Гусев Н.И., Гусев А.И.* Мультиэтапная магно-рудно-метасоматическая система месторождения Каракуль (Горный Алтай) // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. Горно-Алтайск, 2009. № 2. С. 51–69.
3. *Гусев Н.И., Гусев А.И.* Базитовый магматизм и металлогения Юстыдского рудного узла (Юго-Восточный Алтай) // Региональная геология и металлогения. 2010. Вып. 42. С. 90–106.
4. *Третьякова И.Г., Борисенко А.С., Лебедев В.И.* Гидротермальное кобальтовое оруденение АССО: возраст и связь с магматизмом // Металлогения древних и современных океанов – 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс, 2009. С. 42–45.
5. *Magmatism and metallogeny of the Altai and adjacent Large Igneous Provinces with introductory essay on Altaids / R.Seltman, A.Borisenko, G.Fedoseev (eds) // IAGOD Guidebook Series 16. CERCAMS/NHM. London, 2007.*
6. *The age of the lamprophyres of Chuya complex and their correlation with granitoid magmatism and mineralization / A.S.Borisenko, G.G.Pavlova, V.A.Goverdovsky et al. // Large igneous provinces of Asia, mantle plumes and metallogeny: Abstracts of the International Symposium. Novosibirsk, 2009. P. 50–53.*

УДК 553.81+551.24+552.323.6 (470.11)

© Коллектив авторов, 2012

СКЛАДЧАТЫЕ И РАЗРЫВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ВО ВМЕЩАЮЩИХ И ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ТОЛЩАХ В КАРЬЕРЕ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ АРХАНГЕЛЬСКАЯ**П.А.Игнатов, А.В.Болонин, И.Д.Васильев, А.М.Шмонов (РГГРУ), А.А.Фомин, В.Ким (ООО «Севералмаз», г. Архангельск)**

По результатам детальных наблюдений стенок опытно-промышленного карьера алмазоносной кимберлитовой трубки Архангельская во вмещающих глинисто-песчаных отложениях вендской падунской свиты и перекрывающих песчаниках нижнекаменноугольной урзугской свиты выявлены и откартированы малоамплитудные складчатые и разрывные деформации, включающие зоны тектонических трещин, милониты, сбросы, сдвиги, флексуры и пологие антиклинали. Установлен разный структурный план нарушений в вендской толще и перекрывающих нижнекаменноугольных породах. Построения выполнены в ГИС-среде с применением КПК и GPS.

Ключевые слова: складки, разрывные нарушения, кимберлиты, картирование, ГИС-технологии.

Игнатов Петр Алексеевич, petrignatov@gmail.com, Болонин Александр Васильевич, bolonin.a@inbox.ru, Васильев Иван Дмитриевич, yanya112@mail.ru, Шмонов Алексей Михайлович, shmonov@mail.ru, Фомин Андрей Аркадьевич, A_A_fomin@mail.ru, Ким Владимир, VKim@severalmaz.ru.

FOLDED AND RUPTURAL DEFORMATIONS IN THE BEARING AND CAPPING ROCK STRATAS OF KIMBERLITE IN THE PIT OF ARKHANGELSK PIPE**P.A.Ignatov, A.V.Bolonin, I.V.Vasilyev, A.M.Shmonov, A.A.Fomin, V.Kim**

According to the results of detailed observation of the walls of test quarry of diamond-bearing Arkhangelskaya kimberlite pipe, adjacent sandy-argillaceous Vendian sediments of Padunskaya series and overlay sandstones lower Carbon period of Urzugskaya series small-scale fold and faults deformations, including tectonic fractures zones, milonites, faults, shifts, flexures and flat anticlines. Different structural plan of faults within Vendian rocks and overlay rocks of Carbon period was map. Plotting is made within GIS-system with aid of pocket PC and GPS.

Key words: folds, faults, kimberlite, mapping, GIS-technology.

Алмазоносная кимберлитовая трубка Архангельская входит в состав месторождения им. М.В.Ломоносова, расположенного на севере Восточно-Европейской платформы. Практически вся территория Архангельской области относится к закрытому типу поисковых площадей с мощностью перекрывающих осадочных отложений до 100 м и более. Отсутствие протяженных естественных обнажений существенно усложняет задачу изучения кимберлитовмещающей и перекрывающей толщ. До последнего времени единственным источником информации о составе и строении разрезов, кимберлитоконтролирующих структурах служили данные изучения керн и каротажа, по которому в основном и сопоставляются разрезы, строятся палеоповерхности. В связи с этим карьер тр. Архангельская, глубина которого в конце 2009 г. достигла 90 м, а протяженность стенок — многих сотен метров, является уникальным объектом для изучения вмещающих и перекрывающих кимберлиты толщ, контактов кимберлитовых тел, околотрубочных изменений и структурно-тектонических нарушений.

На закрытых территориях актуальна проблема совершенствования методов обнаружения кимберлитов. В пределах кимберлитовых полей и кустов выделение контролирующих скрытых разломов —

важный элемент прогнозирования. Картирование любых нарушений в районе Зимнего Берега осложняется из-за мощного чехла четвертичных отложений. В вендской толще отсутствуют надежные маркеры, что приводит к условной корреляции отложений, затрудняет анализ палеотектонических структур и уровней поствендского эрозионного среза. Вмещающая кимберлиты вендская толща сложена вязкопластичными алеволито-глинистыми породами и рыхлосвязанными песчаниками, в которых проявления хрупких деформаций затушеваны.

Куст кимберлитов, включающий тр. Архангельская, расположен в пределах приподнятого блока фундамента в границах Золотицкой ступени [3]. Структурная позиция трубки определяется приуроченностью к узлу пересечения субмеридиональной кимберлитоконтролирующей разломной зоны с нарушениями северо-западного и северо-восточного направлений [1, 6, 7]. По палеонтологическим и изотопным данным возраст формирования трубки позднедевонский, 370 млн. лет [1, 5, 8]. Трубка образовалась при участии только одного типа магмы — кимберлитового [2]. Кратерная ее часть сложена тремя пачками вулканогенно-осадочных пород. В южной части трубки откартирована крутопадающая с северным склонением апофи-

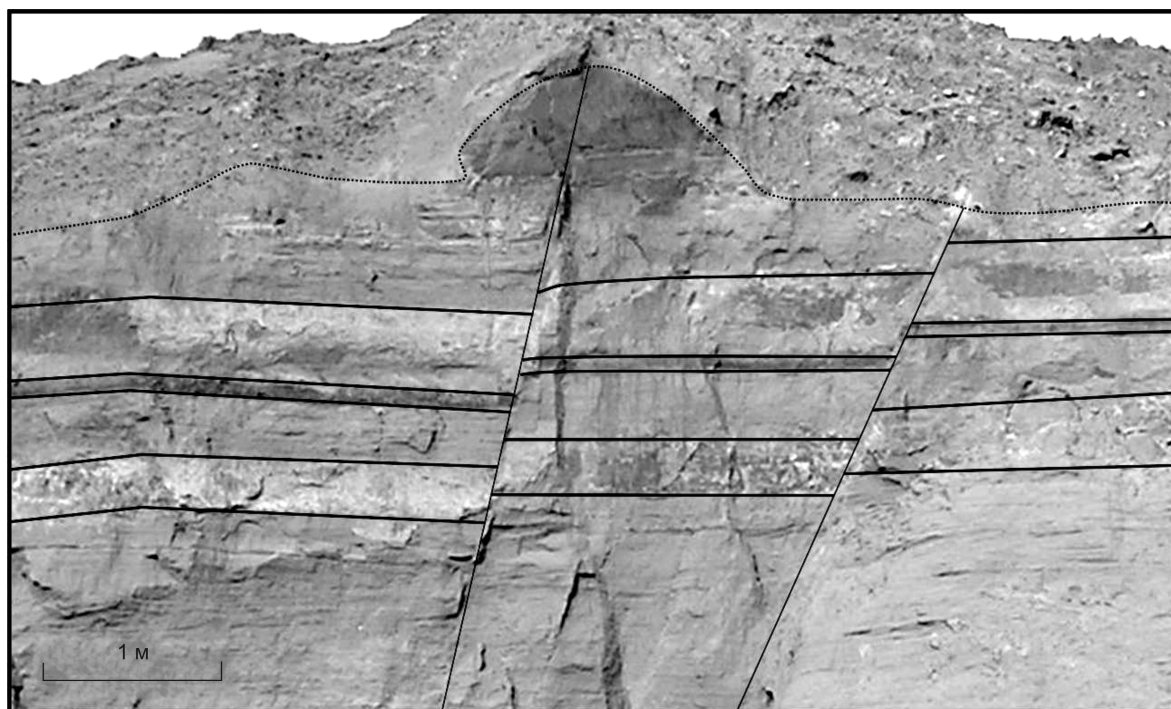


Рис. 1. Малоамплитудные сбросы, нарушающие пески урзугской свиты:

фото северного борта тр. Архангельская, 2005 г.; подчеркнуты поверхности сместителей и смещенных слоев

за, сложенная продуктивными кимберлитовыми туфами.

Трубка располагается в песчано-глинистой толще верхневендской падунской свиты и перекрыта нижнекаменноугольными отложениями урзугской свиты (визейский ярус) и четвертичными осадками. В пределах карьера вендская толща залегает субгоризонтально, в западной его части заметно ее моноклинальное падение на восток под углами $3\text{--}5^\circ$. Вендские красноцветные отложения в карьере сложены двумя типами пакетов слоев — алевролит-аргиллитовыми и алевролит-песчаниковыми. Перекрывающая с несогласием трубку и вендские отложения урзугская свита общей мощностью до 30 м представлена пластами алевролитов, слабосвязанных песчаников и песков, плотных доломитистых песчаников и песчанистых доломитов, линзами долокретов. Пласты залегают горизонтально и выдержаны по простирацию. Сокращение мощности над трубкой фиксирует приуроченное к ней локальное конседиментационное поднятие [4]. Четвертичные отложения залегают на эродированной толще урзугской свиты. На юго-востоке карьера в основании верхнего уступа отмечено непосредственное залегание четвертичных мореных галечников на вендских породах.

В 2004–2009 гг. при систематических мониторинговых работах в карьере трубки Архангельская описаны 159 точек наблюдения, отснято около 400 фотографий и зафиксировано порядка 650 геологических сведений. На базе полевого материала создана электронная база, которая послужила основой для последующего анализа околотрубочного пространства, рудовмещающих и непосредственно перекрывающих трубку пород.

До полевых наблюдений создан ГИС-проект в пакете программ ArcGis 9.2 фирмы Esri со следующими необходимыми слоями: геологической картой месторождения, маркшейдерским планом карьера, данными разведки с контуром кимберлитовой трубки. В процессе наблюдений в карьере использовались портативный GPS-приемник и карманный персональный компьютер со встроенным GPS-приемником с установленной программой ArcPad 7.0 фирмы Esri, которая позволяет применять ранее созданный ГИС-проект. Все сведения фиксировались в виде зарисовок и сопровождалась цифровой фотографией.

База данных предназначена для двухмерного анализа признаков и представляет собой электронную таблицу с набором полей. Поля данных содержат информацию о номере точки наблюдения, ее

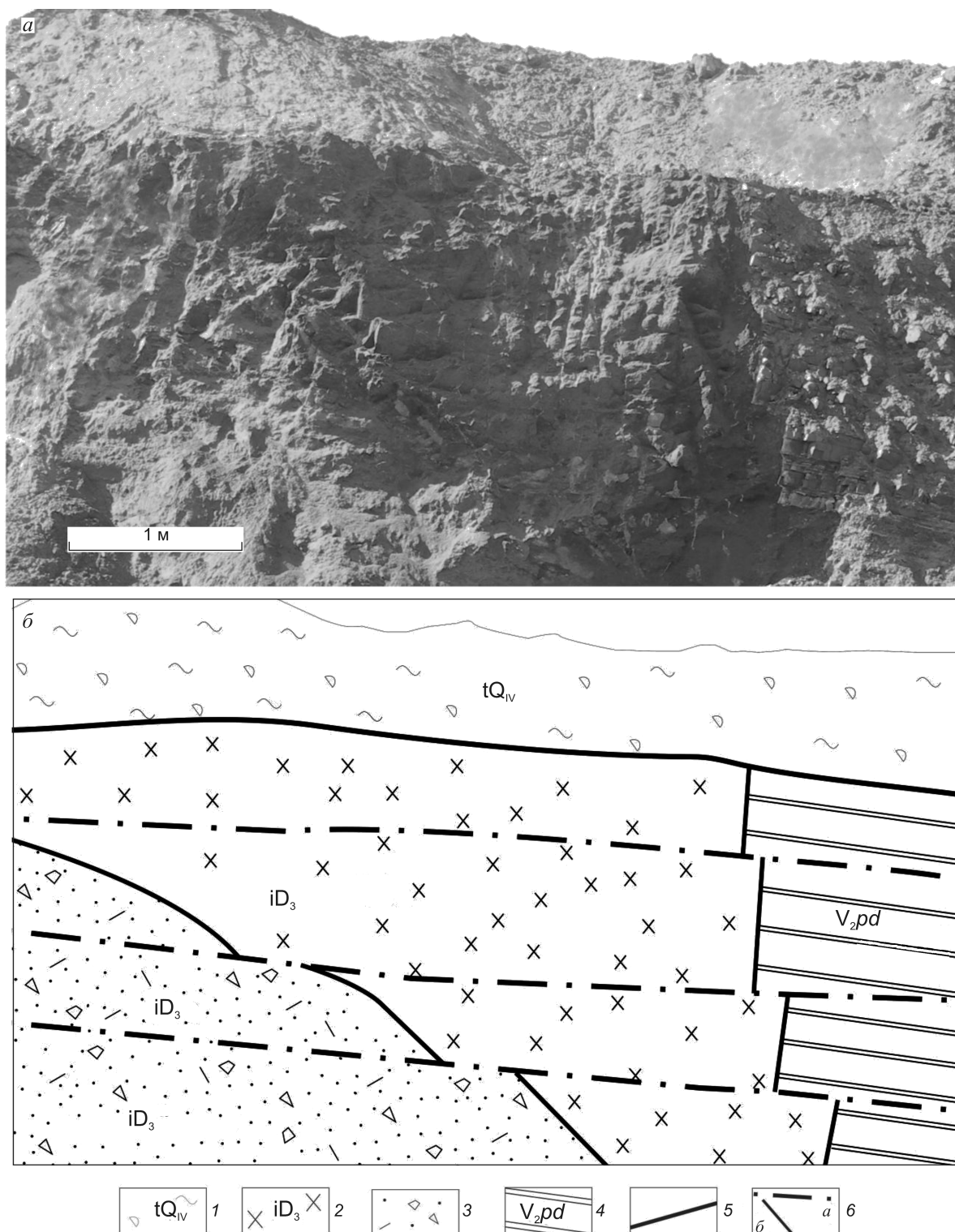


Рис. 2. Ступенчатые левосторонние сдвиги крутопадающих контактов дайковидной апофизы кимберлитовых туфов:

фото южной стенки карьера тр. Архангельская, 2007 г. (а); схема сфотографированного участка (б): 1 — техногенная осыпь; 2 — осветленные и милонитизированные туфы; 3 — туфы, туфопесчаники; 4 — глины, алевролиты, песчаники падунской свиты, 5 — геологические границы; 6 — разрывные нарушения — поверхности сместителей (а), крутопадающий тектонический контакт (б)

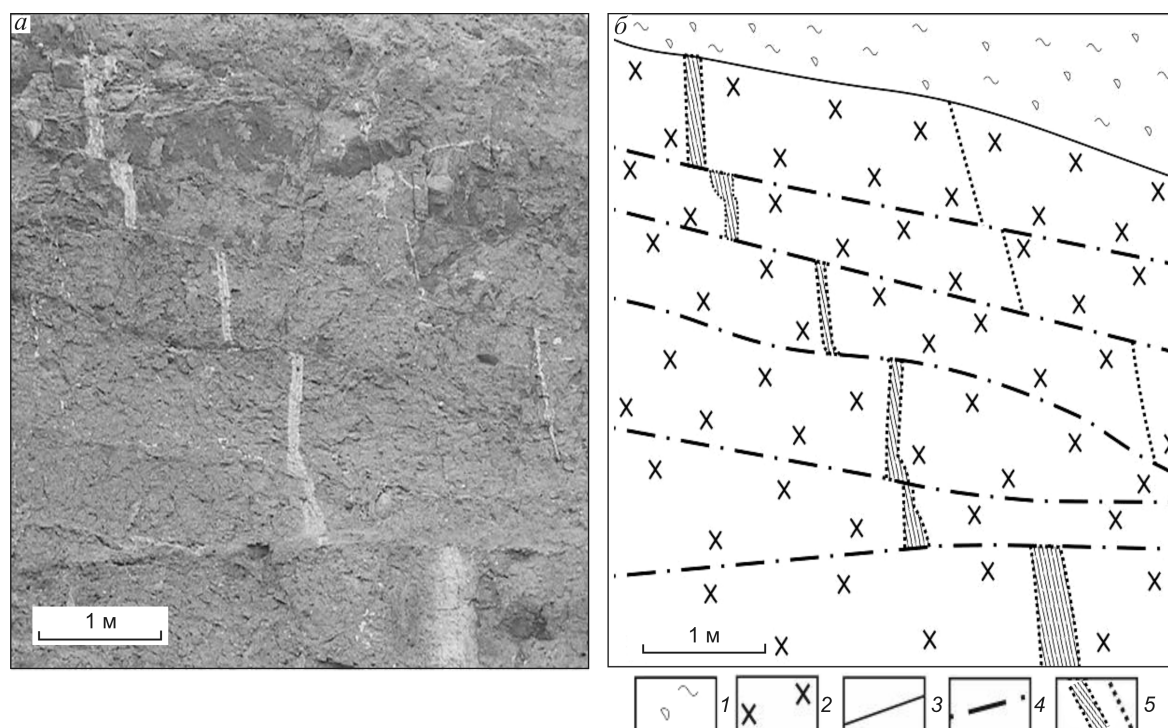


Рис. 3. Ступенчатые сдвиговые деформации кимберлитовых туффитов в дайковидной апофизе тр. Архангельская:

фото южной стенки карьера, 2006 г. (а); схематическая зарисовка (б): 1 — техногенный отвал; 2 — туффиты; 3 — подошва техногенного отвала; 4 — сместители; 5 — зоны сапонитизации с прожилками кварца

координатах, абсолютной высоте, наборе признаков, где исследования, имеющихся наблюдениях и анализах. Признаки зафиксированы в виде специальных кодов в виде буквенной записи для качественных признаков и численных индексов для оценки количественных показателей (например, азимута и угла падения тектонических трещин). Каждый фиксируемый на карьере факт отображается в ГИС-проекте в виде одного из 52 уникальных символов. По всем признакам и их группам построены карты, что позволило провести корректный структурный анализ.

Деформации вмещающей кимберлиты вендской толщи в основном отмечаются вблизи контакта с породами трубки [4]. Однако они встречены и вне экзоконтактов, а также в породах урзугской свиты. Во вмещающей и перекрывающей трубку толщах выделяются разрывные и пликативные деформации: взбросы, сбросы, сдвиги, милониты, тектонические прожилки и трещины, складки.

Взбросовые тектонические деформации наблюдаются в основном во вмещающих вендских породах близ контакта с трубкой. Их амплитуда достигает 20–30 см, сместители крутопадающие.

Там же встречаются сбросовые нарушения с амплитудой до 0,5 м и углами падения сместителей 60–70° в сторону трубки. Предполагается просадочное происхождение таких сбросов, обусловленное взрывными явлениями при формировании кимберлитов. В юго-западной части карьера, главным образом вблизи дайковидной апофизы трубки, имеют место комбинации взбросо-сбросовых нарушений с амплитудами от первых сантиметров до дециметров. Плоскости сместителей крутопадающие и, как правило, осветлены.

Сбросы отмечены и в урзугской толще (рис. 1). Они представлены сближенными сериями с амплитудой до 0,4 м и крутопадающими сместителями (78 и 85°) с разными азимутами простирания 27–30 и 120–125°. Их генезис можно связать с посткаменноугольными тектоническими движениями.

Сдвиговые деформации зафиксированы в нескольких точках дайковидной крутопадающей апофизы, сложенной кимберлитовыми туфами (туффитами). На контакте вмещающих отложений и туфов наблюдаются пологие субпараллельные сместители с видимой амплитудой до 2 м, которые создают серию поверхностей (рис. 2). Они также уста-



Рис. 4. Малоамплитудная антиклиналь в вендской песчано-алевролитовой пачке:

фото южной стенки карьера, 2008 г.; подчеркнуты нижняя граница техногенного отвала (светлое вверху) и некоторые пласты песчаников

новлены и внутри фиолетово-коричневых туфов и представляют собой однонаправленные затухающие вверх малоамплитудные ($n \cdot 10$ см) ступенчатые смещения на юго-восток крутопадающих светло-зеленых прожилковидных образований (рис. 3).

Общий тренд сдвиговой деформации прослеживается достаточно уверенно в восток-юго-восточном направлении. Направление смещений, расположение точек наблюдений в карьере, в которых они были отмечены, позволяют считать, что дайковидная апофиза сдвинута в юго-восточном направлении на десятки сантиметров–первые метры. Время формирования сдвиговой структуры однозначно определить не удастся. С одной стороны, напрашивается вывод о перемещении апофизы в посткимберлитовый этап развития района, о чем свидетельствуют смещения кимберлитов. С другой стороны, место расположения сдвига, который отрезает дайковидную апофизу, может указывать на образование структуры в тот же период времени, что и трубки, но на поздних стадиях.

Милониты откартированы на контактах туфогенно-осадочных и вмещающих пород и внутри самой трубки. Установленные по ним разрывные нарушения вытянуты в северо-западном направлении.

Прожилковое осветление развито по мелким крутопадающим трещинам в вендской толще, образующим линейные зоны шириной до первых десятков метров и создающим диагональную сеть. Прожилковое осветление отмечено в нижней пачке кратерных туфогенно-осадочных отложений. По ним картируются разрывные нарушения в основном субмеридионального простирания. Системы неминерализованных и минерализованных (кварц, кальцит, сапонит) трещин откартированы в автолитовых кимберлитовых брекчиях диатремовой части трубки на глубоких горизонтах в разведочных горных выработках. Происхождение большинства трещин тектоническое, но может быть и контракционным. Линейные зоны тектонических деформаций, прослеженные по прожилковому осветлению в породах падунской свиты, большей частью коррелируются с минерализованными прожилками в туфогенно-осадочных отложениях, что указывает на синхронность их формирования.

В вендских породах наблюдаются крутопадающие линейные зоны трещиноватости. В экзоконтакте диатремы они имеют мощность от первых до 5–10 м. Углы падения колеблются от 70 до 90°. Чаше встречаются системы трещин, хотя присутствуют и одиночные неминерализованные трещины. Вместе с

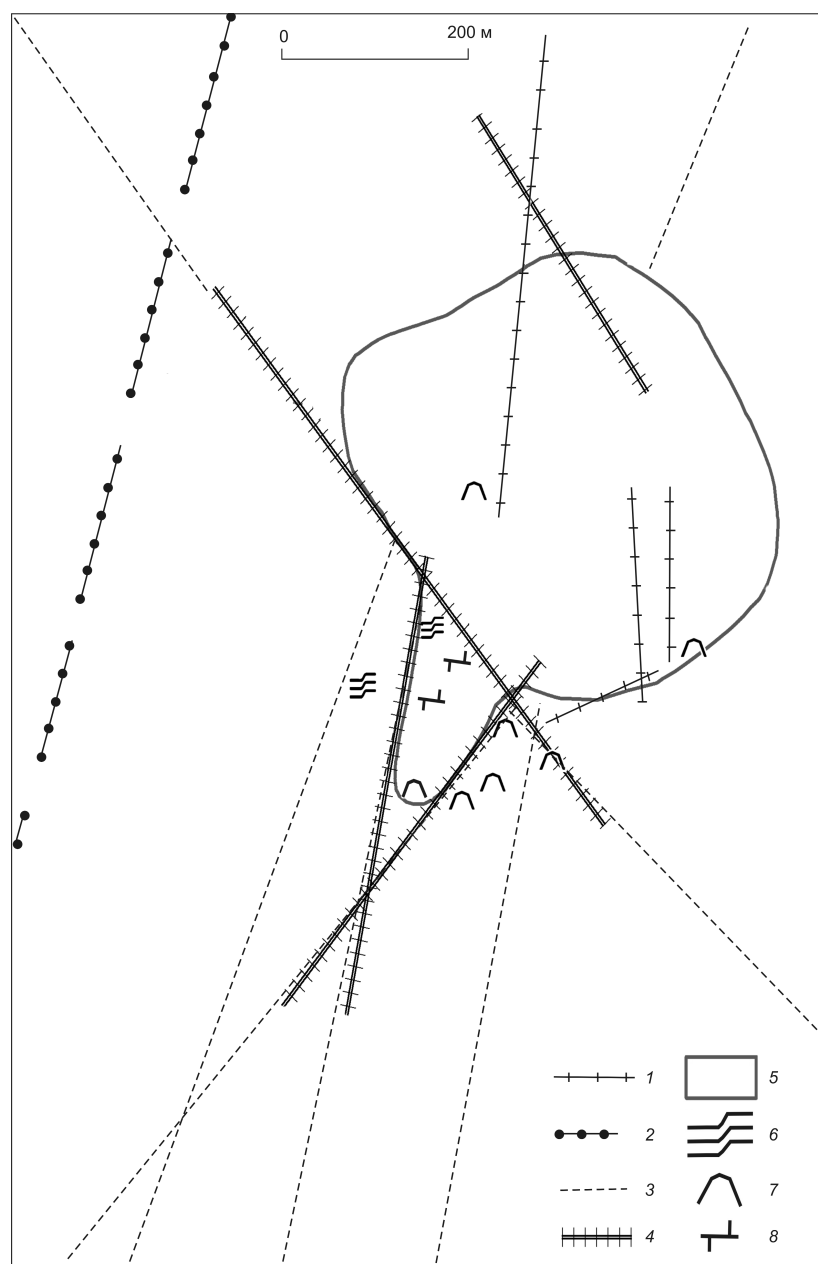


Рис. 5. Разрывные нарушения, установленные в карьере тр. Архангельская и предполагаемые в участках линейных перегибов кровли мезенской и падунской свит:

1 — разрывные нарушения, выявленные по системе тектонических трещин в урзугской свите; 2 — то же, предполагаемые в участках линейных перегибов кровли мезенской свиты; 3 — то же, предполагаемые в участках линейных перегибов кровли падунской свиты; 4 — разрывные нарушения в падунской свите, установленные в стенках карьера; 5 — контуры кимберлитовой трубки; 6 — флексуры в падунской свите; 7 — антиклинальные складки в падунской свите; 8 — сдвиговые деформации в дайковидной апофизе кимберлитовых туфов

милонитами и малоамплитудными взбросами и взбросо-сбросами они формируют линейные полосы тектонических нарушений шириной до первых десятков метров и протяженностью до 500 м.

Часть трещин в вендских породах образовалась до заполнения кратерной части, поскольку в кратерной толще туфопесчаников отмечены глыбы вендских алевролитов с осветленными тектониче-

скими трещинами. На образование разломов в син-кимберлитовый этап косвенно указывает их приуроченность к контактам трубки. По-видимому, были проявлены и молодые посткаменноугольные деформации.

В толще урзугской свиты также присутствуют зоны крутопадающих сближенных трещин. Встречаются и сопряженные системы тектонических трещин, угол между которыми близок к 90°. Отмечены зоны трещиноватости с сочетанием послойных и субвертикальных нарушений. Многие трещины минерализованные с осветлением по плоскостям разрыва, хотя встречаются и сухие.

Данные картирования показывают, что зоны трещиноватости в падунской свите не коррелируются с аналогичными структурами в урзугской, хотя общая субмеридиональная направленность зон сохраняется.

В вендской толще зафиксированы малоамплитудные флексуры и складки. Флексуры мелкие шириной до 2–3 м, амплитудой 0,5 м. Складки представлены антиклиналями с амплитудами в первые метры и шириной десятки метров (рис. 4). Складка шириной порядка 150 м отмечена лишь в западной части карьера. Складки в вендской толще, по-видимому, имеют приразломное происхождение, так как располагаются на продолжении разрывных нарушений, их оси параллельны зонам трещин, в осевых плоскостях отмечаются тектонические трещины. Парагенезис складчатых и разрывных деформаций откартирован в южной части околотрубного пространства (рис. 5).

Картированием в карьере прослежены разломные зоны северо-западного и северо-восточного простираний, ограничивающие тело кимберлитов и дайковидную апофизу с запада, а также отделяющие ее от основной части трубки (см. рис. 5). Большая часть отмеченных разрывных нарушений продолжается за пределы карьера по разломам, предполагаемым в местах линейных перегибов кровли падунской и мезенской свит, которые выделены авторами по данным бурения [6].

Таким образом, в карьере трубки Архангельская обнаружены и откартированы тектонические деформации различной морфологии, генезиса и времени проявления. Особый интерес при поисках кимберлитовых тел представляют приразломная складчатость и наличие сдвиговых структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросов Е.А., Вержас В.В., Ларченко В.А., Минченко Г.В. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел на примере Архангельской кимберлитовой провинции // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (алмазы-50). СПб., 2004. С. 9–18.
2. Возраст и модель образования трубок Ломоносовского месторождения алмазов. Архангельская область, Северо-Запад России / И.Махоткин, Д.Роби, С.Курслаукис и др. // Тр. конференции «MINEX FORUM Северо-Запад 2007». Петрозаводск, 2007. С. 32–39.
3. Головин Н.Н. К проблеме геологического и структурно-тектонического районирования Архангельской алмазоносной провинции // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 3. С. 14–20.
4. Контакты кимберлитовой трубки Архангельская и деформации вмещающих и перекрывающих пород / П.А.Игнатов, А.В.Болонин, И.Д.Васильев и др. // Геология и разведка. 2009. № 5.
5. Ларченко В.А., Степанов В.П., Минченко Г.В., Первов В.А. Возраст магматических пород, рудовмещающей толщи и среднепалеозойских коллекторов Зимнебережного алмазоносного района // Геология алмаза — настоящее и будущее (геологи к 50-летию г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). Воронеж, 2005. С. 322–347.
6. Палеотектонические структуры Зимнебережного алмазоносного района Архангельской области / П.А.Игнатов, А.В.Болонин, Б.Ф.Калмыков и др. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2008. № 3.
7. Прусакова Н.А. Глубинная структура Зимнебережного кимберлитового поля, Архангельская область // Руды и металлы. 2006. № 2. С. 53–63.
8. Саблуков С.М. Некоторые особенности внутреннего строения кимберлитовых трубок // Тр. ЦНИГРИ. 1987. Вып. 218. С. 37–41.

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 669.1:662

© Коллектив авторов, 2011

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА РЕЖИМОВ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ОБЖИГА БУРОЖЕЛЕЗНЯКОВОГО КОНЦЕНТРАТА ЛИСАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ЕГО ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

А.А.Мухтар, Г.Л.Каткеева, Т.А.Требухова (Химико-металлургический институт им. Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан), Е.В.Кочегина, З.С.Халикова (Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова, Республика Казахстан)

Приведены результаты исследований по обогащению бурожелезнякового концентрата Лисаковского месторождения, проведенных с использованием планирования эксперимента по методу Зейделя–Гаусса. Установлен рациональный режим восстановительного обжига Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата в присутствии жидкого углеводорода, обеспечивающий максимальный перевод немагнитного железосодержащего минерала ЛГМК гидрогетита в магнетит с последующим обогащением его магнитной сепарацией в поле низкой интенсивности.

Ключевые слова: жидкие углеводороды, бурожелезняковые руды, Лисаковский гравитационно-магнитный концентрат, обжиг, магнитная сепарация, магнитная фракция, оксиды железа.

Мухтар Айдархан Ахуанұлы, Каткеева Гүлнара Летаевна, katkeeva@mail.ru, Требухова Тамара Алексеевна, Кочегина Елена Вячеславовна, Халикова Зухра Салаватовна

APPLICATION OF THE METHOD OF MATHEMATICAL PLANNING TO SELECT MODES OF REDUCING ROASTING OF A BROWN IRON CONCENTRATE FROM THE LISAKOVSK DEPOSIT WITH THE VIEW OF ITS FURTHER CONCENTRATION BY THE MAGNET SEPARATION METHOD

A.A.Mukhtar, G.L.Katkeeva, T.A.Trebukhova, E.V.Kochegina, Z.S.Khalikova

This work shows a possibility and expediency of using liquid hydrocarbons in the process of thermal preparation of the Lisakovsk gravitation-magnetic concentrate to the conversion. The results of investigations into concentration of brown iron concentrate of the Lisakovsk deposit carried out using an experimental planning according to the Gauss-Seidel method have been presented. An efficient mode of the reducing roasting of the Lisakovsk gravitation-magnetic concentrate in the presence of liquid hydrocarbon, which provides the maximal conversion of non-magnetic iron-containing mineral of the LGMC — hydrogoethite — into magnetite followed by the concentration of it by means of magnetic separation in the field of low intensity has been determined.

Key words: liquid hydrocarbons, brown iron ores, the Lisakovsk gravitation-magnetic concentrate, roasting, magnetic separation, magnetic fraction, iron oxides.

Принципиальная возможность осуществления процесса магнетизации Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата (ЛГМК) при участии жидких углеводородов доказана термодинамическим, термографическим, кинетическим, рентгенофазовым, магнитным и мессбауэровским исследованиями [1, 4]. Для определения рационального режима восстановительного обжига ЛГМК в присутствии жидкого углеводорода, обеспечивающего максимальный перевод немагнитного железосодержащего минерала ЛГМК гидрогетита в магнетит с последующим его извлечением наиболее высокоэффективным методом обогащения железных

руд — магнитной сепарацией в полях низкой интенсивности, проведены исследования с использованием планирования эксперимента методом Зейделя–Гаусса на пяти уровнях [3].

Изучаемые факторы: температура (T 400–800°C), продолжительность обжига (τ 30–90 мин), концентрация жидкого углеводородного восстановителя ($C_{\text{жув}}$) — высоковязкой нефти месторождения Каражанбас, раствором которой обрабатывался ЛГМК (0,25–1,25%). Объект исследования — гравитационно-магнитный концентрат такого химического состава, %: $\text{Fe}_{\text{общ}}$ 47,6, SiO_2 9,64, Al_2O_3 4,37,

Экспериментальные и расчетные значения исследуемых функций

Исследуемые факторы			Удельная намагниченность, %		Степень магнетизации огарков, %		Выход магнитной фракции, %		Извлечение Fe в магнитную фракцию, %	
$T, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{жув}}, \%$	$\tau, \text{мин}$	I_z	I_p	Mt_z	Mt_p	γ_z	γ_p	ϵ_z	ϵ_p
400	0,75	60	0	0	0,97	1,30	2,20	2,20	1,76	1,79
500	0,75	60	6,94	7,00	10,02	10,83	48,20	48,70	22,23	22,67
600	0,75	60	11,04	11,15	20,56	20,78	75,80	76,50	38,2	39,00
700	0,75	60	12,46	12,60	44,80	45,30	88,00	88,96	73,69	75,20
800	0,75	60	11,08	11,90	39,97	40,40	75,80	76,6	50,34	51,35
700	0,25	60	7,69	7,69	27,59	28,14	66,21	67,53	54,14	55,30
700	0,5	60	12,35	12,47	40,29	41,09	81,27	82,89	72,65	74,10
700	0,75	60	16,75	16,92	44,10	45,06	88,08	89,84	73,38	74,90
700	1,0	60	21,30	21,51	53,15	54,20	93,33	95,19	76,32	77,90
700	1,25	60	25,84	26,04	66,42	68,01	90,31	92,10	77,97	79,50
700	0,75	30	10,89	10,78	34,29	33,94	65,33	65,98	55,78	59,53
700	0,75	45	12,72	12,59	38,17	37,78	83,33	83,91	69,14	71,21
700	0,75	60	14,62	14,47	44,6	45,10	88,97	89,95	73,84	75,23
700	0,75	75	12,72	12,59	37,35	37,07	83,08	83,91	60,92	62,54
700	0,75	90	10,63	10,52	28,87	28,20	65,33	65,98	55,40	55,95

Р 0,7. Определены следующие показатели огарка ЛГМК: удельная намагниченность (I), выход магнитной фракции (γ), извлечение железа в магнитную фракцию (ϵ), а также степень магнетизации огарков (Mt). План эксперимента и основные показатели представлены в таблице.

После обработки полученных результатов построены точечные зависимости частных функций от изучаемых факторов (рис. 1, 2). С повышением температуры от 400 до 700°C выход магнитной фракции возрастает до 88,33% (см. рис. 1, а). Дальнейшее повышение температуры до 800°C приводит к резкому снижению выхода магнитной фракции до 65,3%. Интенсивное увеличение выхода магнитной фракции объясняется тем, что в области температур 400–700°C процесс дегидратации гидрогетита протекает с образованием метастабильной формы оксида железа (III), которая катализирует деструкцию адсорбированного жидкого углеводорода в оолитах.

В свою очередь, продукты деструкции жидкого углеводородного восстановителя (активный водород, свободные радикалы, гидроксидные группы, а также продукты паровой конверсии свободного углерода) по мере повышения температуры до 700°C способствуют увеличению скорости восстановления оксидов железа (III) до сильномагнитного магнетита по реакциям, приведенным в работе [2], т.е. процесс осуществляется в восстановительной атмосфере. Дальнейшее возрастание температуры приводит к значительному уменьшению выхода магнитной фракции, что вызвано окислением части

полученного в реакционной зоне магнетита кислородом воздуха и образованием немагнитного оксида железа (III) (см. рис. 1, а).

На рис. 1, б показана зависимость выхода магнитной фракции от концентрации жидкого углеводородного восстановителя. В области концентраций ЖУВ 0,25–1,0% значения γ изменяются от 62,0 до 93,5%. С повышением концентрации ЖУВ до 1,25% наблюдается снижение выхода фракции до 90,31%.

С увеличением продолжительности процесса с 30 до 60 мин выход магнитной фракции возрастает от 65,3 до 88,8% (см. рис. 1, в). Увеличение выхода фракции определяется кинетикой последовательного превращения гетит→гематит→магнетит в восстановительной атмосфере при T 700°C и концентрации ЖУВ 0,75%. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса обжига до 90 мин приводит к уменьшению выхода магнитной фракции до 65,3%. Это происходит вследствие сдвига окислительно-восстановительного режима реакций в сторону преобладания процесса окисления. Подтверждением данного вывода служат результаты изучения огарков, полученных при указанных условиях, методами РФА, ЯГР-спектроскопии, ДТА и магнитных исследований [3].

Температурная зависимость извлечения железа в магнитную фракцию проходит через максимум при температуре 700°C (см. рис. 2, а) Значения ϵ изменяются от 1,76 до 73,69%. Повышение температуры обжига выше точки экстремума (700°C) приводит к значительному снижению извлечения

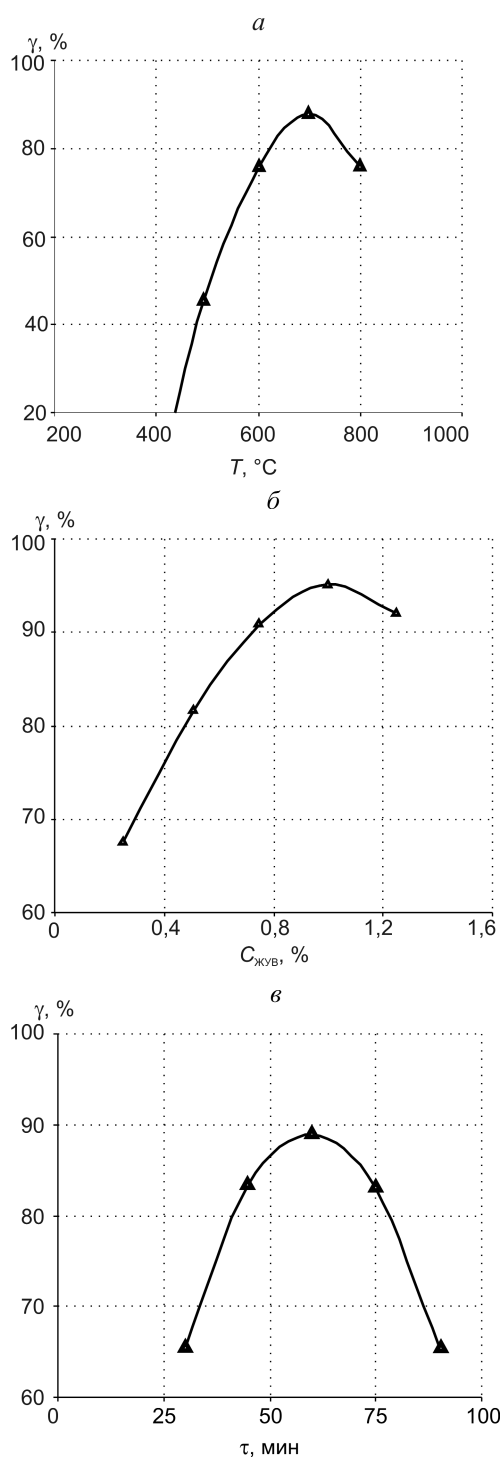


Рис. 1. Частные зависимости выхода магнитной фракции γ от температуры (*a*), концентрации ЖУВ (*б*) и продолжительности процесса (*в*)

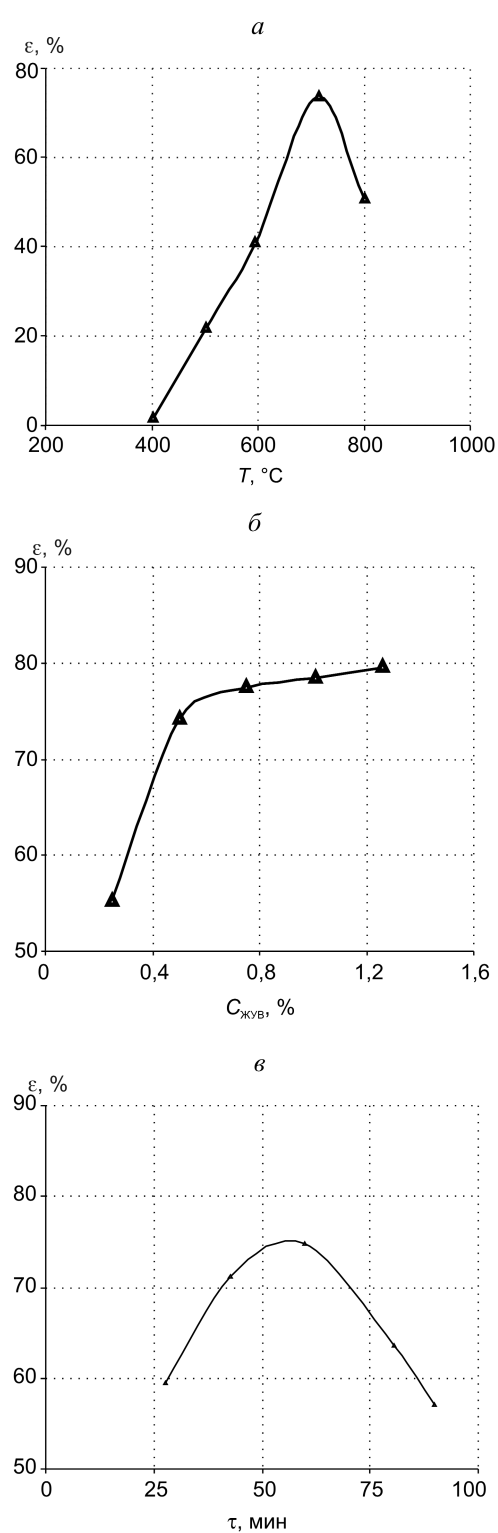


Рис. 2. Частные зависимости степени извлечения Fe в магнитную фракцию ϵ от температуры (*a*), концентрации ЖУВ (*б*) и продолжительности процесса (*в*)

Fe, что объясняется высокотемпературным окислением части магнетита в огарке до немагнитного оксида железа (III) и подтверждается методами ДТА и РФА.

Установлено, что увеличение концентрации ЖУВ (см. рис. 2, б) положительно влияет на извлечение Fe в магнитную фракцию. Так, при изменении концентрации от 0,25 до 0,75% показатель ϵ возрастает в 1,3 раза. Увеличение концентрации ЖУВ до 1,25 приводит к стабилизации извлечения Fe в магнитную фракцию. Стабилизирующим фактором в данном случае является восстановительный процесс, который преобладает над процессом окисления магнетита.

Временная зависимость извлечения Fe в магнитную фракцию (см. рис. 2, в) имеет экстремум при 60 мин. При изменении времени обжига от 30 до 60 мин извлечение Fe в магнитную фракцию возрастает от 55,78 до 73,84%. Дальнейшее увеличение продолжительности термообработки приводит к резкому снижению показателя обогащения с 73,84 до 55,40%, что обусловлено снижением выхода фракции из-за смещения равновесия в системе в сторону окисления (подтверждается данными ДТА).

Аппроксимацией точечных зависимостей получены частные уравнения выхода магнитной фракции и извлечения Fe в магнитную фракцию в зависимости от исследуемых факторов. Вычисленные коэффициенты нелинейной корреляции (R) и значимости (t_R) указывают на то, что факторы в обоих случаях значимые и при составлении обобщенного уравнения процесса необходимо учитывать все три зависимости:

$$\gamma_{00} = 0,00027 \{ [85,00 - 0,00092(T-700)^2] \cdot [93,33 - 48,21(C-1,0)^2] \cdot [89,00 - 0,00263(\tau-60)^2] \}, \quad (1)$$

$$\epsilon_{00} = 0,00031 \{ [72,69 - 0,00077(T-700)^2] \cdot [54,0 + 29,76(C-0,25)] \cdot [73,04 - 0,019(\tau-60)^2] \}. \quad (2)$$

Рассчитаны коэффициенты нелинейной корреляции для уравнений (1) и (2):

$R=0,76$ и $R=0,96$, а также их значимости $t_R=5,98$ и $t_R=39,72$.

С использованием обобщенных уравнений определены оптимальные параметры восстановительного обжига ЛГМК: температура 700°C, концентрация ЖУВ в растворе 1,0%, продолжительность термообработки 60 мин. Полученный в экспериментальных условиях продукт обжига содержит 54,1% Fe. После магнитной сепарации огарка в поле низкой интенсивности (500 э) концентрация Fe повышается до 57,7%. Выщелачиванием огарка слабым раствором серной кислоты по применяемой в настоящее время технологии ТОО «Оркен» возможно получение продукта с содержанием Fe 64,0%, что позволяет использовать его в металлургическом переделе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочегина Е.В., Мухтар А.А., Байкенов М.И. Исследование продуктов термокаталитической дегидратации Лисаковского гравитационно-магнитного концентрата жидким углеводородом // Комплексное использование минерального сырья. Алматы, 2009. № 5. С. 8–12.
2. Кочегина Е.В., Мухтар А.А., Ким В.А. Исследование процесса термической обработки Лисаковского бурожелезнякового концентрата жидкими углеводородными восстановителями // Тез. докл. научно-практической конференции «Проблемы теоретической и экспериментальной химии». Екатеринбург, 2008. С. 247–248.
3. Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1977.
4. Мухтар А.А., Бектурганов Н.С., Коровушкин В.В., Вернер И.А. Исследование продуктов обжига бурожелезняковых концентратов методами ЯГРС и термомагнитного анализа // Обогащение руд. 2011. № 3. С. 28–30.

ДИСКУССИИ

УДК 553.048

© И.И.Силин, 2012

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НА СТАДИИ ПОИСКОВ

И.И.Силин (ИМГРЭ Роснедра Минприроды России)

Описан новый метод оценки ресурсов минерального сырья на стадии поисковых работ. Основные категории подсчета ресурсов (среднее содержание, объем руды, коэффициент рудоносности) вычисляются как относительные величины месторождений с минимально-промышленными параметрами. Метод применим также и для вычисления ресурсов по результатам геохимического опробования ореолов и потоков рассеяния.

Ключевые слова: ресурсы, параметры, содержание, коэффициент промышленной концентрации, коэффициент промышленной рудоносности.

Силин Игорь Иванович, igorivsil@gmail.com

GEOLOGICAL-AND-ECONOMIC EVALUATION OF MINERAL RESOURCES AT AN EXPLORATION STAGE

I.I.Silin

A new method of evaluation of mineral resources at an exploration stage is described. The basic categories of resources estimation (average content, ore volume, factor of ore presence) are calculated as a relative numbers of deposits with minimal economic parameters. The method is applicable also for resources evaluation based on geochemical sampling of haloes and dispersion trains.

Key words: resources, parameters, content, factor of economic concentration, factor of economic ore presence.

На стадии опережающих геохимических съемок и поисков аналитических данных, характеризующих рудный объект, как правило, бывает недостаточно для вычисления прогнозных ресурсов прямым расчетом. Предлагаемый метод позволяет преодолеть недостаток объективных данных путем использования функции пространственной связи содержания и объема рудного вещества на перспективной площади. В основу метода положены установившиеся представления о полиранговой структуре регионального металлогенического поля [4 и др.]. Если систематику металлогенических структур

производить не относительно площади континентальной коры, а относительно площади рудного тела, то таблица будет характеризовать площадную долю участка недр ранга рудного тела (РТ) в блоках металлогенических структур других рангов: рудных месторождений (РМ), рудных полей (РП), рудных узлов (РУ), рудных районов (РР), рудоносных зон (РЗ), т.е. площадные ранговые коэффициенты рудоносности (табл. 1).

Для связи параметров объема руды и содержания необходимо, чтобы они характеризовали один и тот же участок недр — месторождение. Для этого

1. Расчетные значения площадных ранговых коэффициентов рудоносности при усредненных значениях параметров рудоносных структур

Ранг АГХП	РТ	РМ	РП	РУ	РР	РЗ
S поля, км ²	0,1	1	10	100	1000	10 000
РТ	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00001
РМ		1	0,1	0,01	0,001	0,0001
РП			1	0,1	0,01	0,001
РУ				1	0,1	0,01
РР					1	0,1
РЗ						1

Примечание. Для вычисления объемных коэффициентов ранговой рудоносности принимается усредненная глубина прогнозирования для крутопадающих рудных зон, км: РТ — 0,3, РМ — 0,5, РП — 0,7, РУ — 1, РР, РЗ — 1,5.

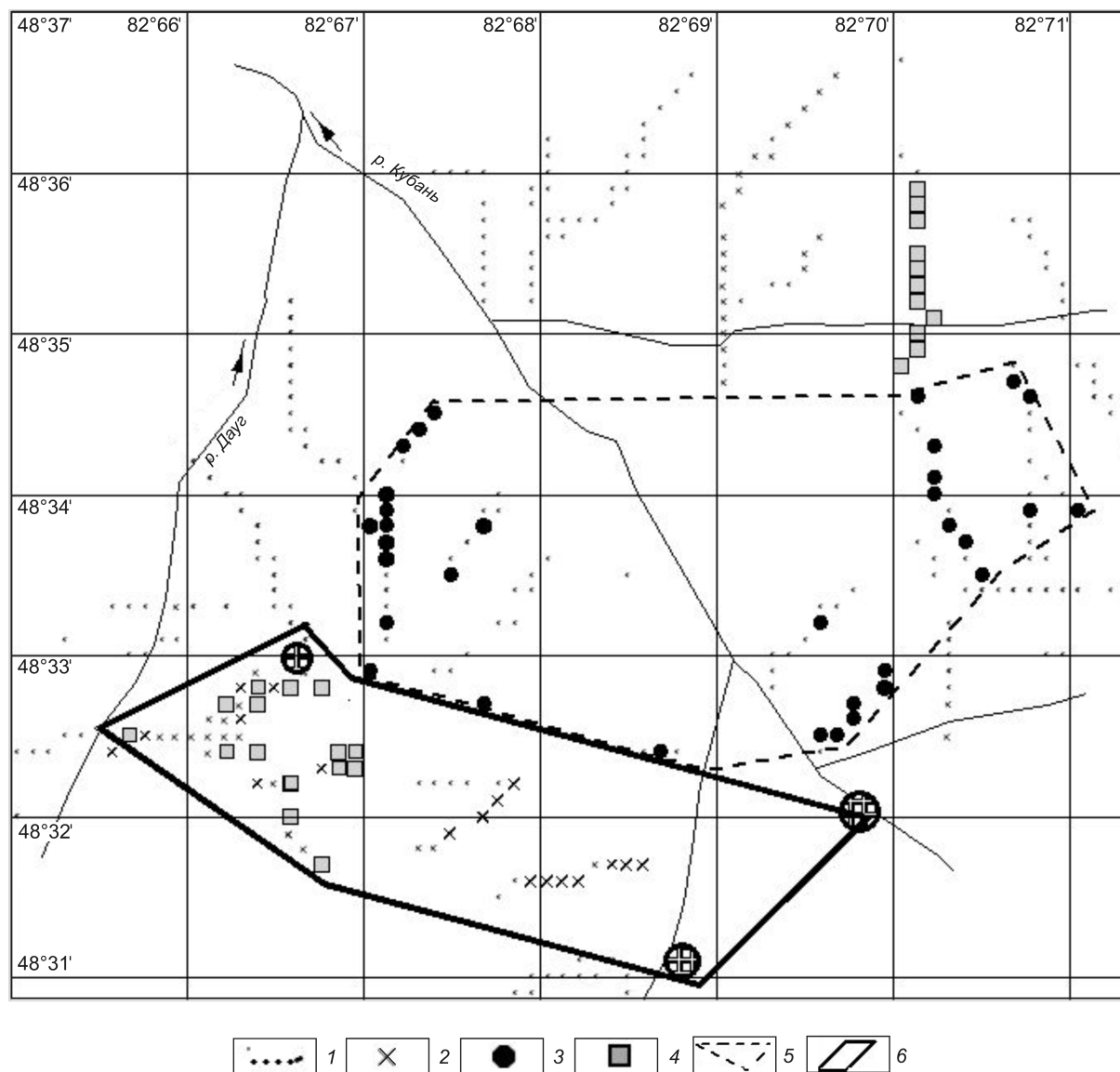


Рис. 1. Схема подсчета прогнозных ресурсов Эльбурского рудного поля, Северный Кавказ (геохимические поиски по потокам рассеяния м-ба 1:50 000):

1 — точки отбора донных проб; 2 — пробы с повышенным значением $K_{\text{сп}} \Sigma \text{Cu, Pb, Zn}$; 3 — пробы с повышенным значением $K_{\text{сп}} \Sigma \text{Co, Ni, V, Cr}$; 4 — пробы с содержанием Ba > 1 кг/т; 5 — контур аномалии сидерофильных элементов; 6 — контур подсчета ресурсов полиметаллов (Pb, Zn)

реальные содержания металлов в пробах прогнозного объекта нормируются на их минимально-промышленные содержания в месторождениях мира (или региона); полученные величины именуются коэффициентами промышленной концентрации. Используя десятичную градацию рангов, коэффициенты промышленной концентрации и промышленной рудоносности, ресурсы любого рудоносного блока земной коры можно охарактеризовать в долях месторождения с минимальными запасами. Например, в исходных геохимических данных из-за низкого

содержания металла основные параметры подсчета ресурсов определить невозможно, но их можно вычислить как относительные величины месторождений с минимально-промышленными параметрами. Для этого выполняются следующие операции.

Путем нормирования результатов лабораторных определений на минимально-промышленное содержание металла, принятое по мировым (или региональным) оценкам, устанавливаются коэффициенты промышленной концентрации ($K_{\text{сп}}$).

2. Сравнение ресурсов, рассчитанных по геохимическим данным донных осадков с использованием геолого-промышленных категорий, и поисково-разведочных оценок

Территория	Характеристика объекта	Металл	Параметры расчета по формуле $Q=S \cdot K_{\text{Cp}} \cdot H \cdot d \cdot K_{\text{Cp}} \cdot \alpha$	Оценки прогнозных ресурсов категории P_3 геолого-промышленным методом по геохимическим данным	Известные на площади промышленные запасы (ресурсы)
1	2	3	4	5	6
К-37, К-38, Северный Кавказ	<i>Среднепалеозойские – мезозойские вулканогенно-осадочные и осадочные комплексы, plutонические, гранитные и дайковые комплексы. Гидротермально-метасоматические, жильные и скарновые рудные формации</i>				
	Рудное поле Кизил-Дере, м-б 1:50 000	Cu	$S 14,5 \text{ км}^2, H 1 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 3 \text{ кг/т}, K_{\text{Sp}} 0,007, \sigma 1, d 3,5 \text{ т/м}^3$	$P_3 1,1 \text{ млн. т}$	$B+C_1+C_2 1 \text{ млн. т}, \text{Cr} 21,4 \text{ кг/т}$
		Zn	$S = 5,9 \text{ км}^2, H 1 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 10 \text{ кг/т}, K_{\text{Sp}} 0,0004, \sigma 1, d 3,5 \text{ т/м}^3$	$P_3 83 \text{ тыс. т}$	$B+C_1+C_2 24 \text{ тыс. т}, \text{Cr} 21,9 \text{ кг/т}$
	Садонский рудный узел, м-б 1:50 000	Pb	$S 71 \text{ км}^2, H 0,2 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 10 \text{ кг/т}, K_{\text{Sp}} 0,0036, \sigma 0,5, d 3,5 \text{ т/м}^3$	$P_3 895 \text{ тыс. т без вычета отработанных запасов}$	Остаточные ресурсы P_2 — Pb 250 тыс. т, остаточные запасы месторождения Са-дон — Pb 35 тыс. т
		Zn	$S 71 \text{ км}^2, H 0,2 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 10 \text{ кг/т}, K_{\text{Sp}} 0,0032, \sigma 0,5, d 3,5 \text{ т/м}^3$	$P_3 795 \text{ тыс. т без вычета отработанных запасов}$	Остаточные ресурсы P_2 — Zn 600 тыс. т, остаточные запасы месторождения Са-дон — Zn 90 тыс. т
	Тырныаузский рудный район, м-б 1:50 000	W	$S 7,5 \text{ тыс. км}^2, H 1,5 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 1 \text{ кг/т}, K_{\text{Sp}} 0,00001, \sigma 1, d 3 \text{ т/м}^3$	$P_3 338 \text{ тыс. т}$	Остаточные ресурсы P_3 — WO_3 273 тыс. т
Q-57, Колыма	<i>Раннемеловой plutонический комплекс, золото-сульфидная монзонит-сиенитовая формация</i>				
	АГХП ранга РУ (Камень Тыкмака), м-б 1:200 000	Au	$S 522 \text{ км}^2, H 1 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 1 \text{ г/т}, K_{\text{Sp}} \text{Au} 0,0004, \sigma 0,5, d 2,7 \text{ т/м}^3$	$P_3 280 \text{ т (на } H 200 \text{ м — 56 т)}$	$P_3 330 \text{ т}, H 200 \text{ м (производственный отчет, м-б 1:200 000)}$
Q-58, Колыма	<i>Раннемеловой plutонический комплекс, золото-порфировая монзонит-сиенитовая формация</i>				
	АГХП ранга РУ (золоторудные проявления Весенние и медно-рудное месторождение Песчаное), м-б 1:200 000	Au	$S 528 \text{ км}^2, H 1 \text{ км}, 1K_{\text{Cp}} 1 \text{ г/т}, K_{\text{Sp}} \text{Au} 0,0006, \sigma 0,5, d 2,7 \text{ т/м}^3$	$P_3 425 \text{ т (на } H 200 \text{ м — 17 т)}$	$P_3 130 \text{ т}, H 200 \text{ м (производственный отчет, м-б 1:200 000)}$

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Р-46, Енисей- ский кряж	<i>Нижне-среднерифейские вулканогенно-осадочные метаморфические комплексы. Стратиформные месторождения в черносланцевых и кремнисто-карбонатных отложениях</i>				
	АГХП ранга РР (месторождения Эльдорадо, Советское, Благодатское и др.), м-б 1:200 000	Au	$S 4200 \text{ км}^2$, $H 1,5 \text{ км}$, $1K_{\text{Cp}} 1 \text{ г/т}$, $K_{\text{Sp}} 0,0001$, $d 2,7 \text{ т/м}^3$	$P_3 1700 \text{ т}$	$P_3 1200 \text{ т}$, м-б опробования 1:200 000, $C_1 1173 \text{ т}$, разведанные запасы (без месторождения Олимпиадинское)

П р и м е ч а н и е. В формуле подсчета ресурсов (Q) приняты следующие буквенные обозначения: S — площадь, H — глубина прогнозирования, K_{Cp} — коэффициент промышленной концентрации, K_{Sp} — коэффициент промышленной рудоносности АГХП, a — доля промышленных руд в потенциальном месторождении, d — объемный вес руды.

В контуре численных значений коэффициентов промышленной концентрации, максимально приближенных к единице (десятые, сотые доли единицы), определяется площадь рудоносного блока. Глубина подсчета обуславливается технологически доступной глубиной отработки месторождений прогнозируемого типа.

Коэффициент промышленной рудоносности блока (K_{Sp}) определяется как долевое соотношение объема блока с содержанием металла выше минимально-промышленного и непромышленной его части (в долях единицы). Для этого в контуре рудоносного блока на основе вариограммы плотности распределения содержаний определяется зависимость коэффициента промышленной рудоносности от коэффициента промышленной концентрации. В общем случае она выражается функцией, обладающей эластичными свойствами:

$$K_{\text{Sp}} = aK_{\text{Cp}}^b,$$

где a — масштабный множитель, численно равный коэффициенту промышленной рудоносности при минимально-промышленном содержании металла (Cp), b — переменная величина, характеризующая связь $K_{\text{Sp}} - K_{\text{Cp}}$ в зависимости от величины Cp .

Технология выделения рудоносных структур по геохимическим данным описана в работе [7]. Она реализуется на базе ГИС-технологии с использованием любого из известных программных комплексов (ArcGis, ArcView, Surfer, Qvantum Gis). Для классификации нормированных аналитических данных применяется метод естественных границ с оптимизацией по Дженку (Jenk). Для построения карт используется легенда типа «плотность точек». Для подсчета прогнозных ресурсов задачи классической статистики (определение среднего содержания и среднеквадратического отклонения) не соответствуют геологической задаче, так как необходимо оценить не математическое ожидание в абстрактной совокупности проб, а среднее значение в конкретном потенциально рудоносном геоло-

гическом теле, из которого взята выборка проб. Эта задача решается методами анализа случайных функций, математический аппарат которых для геолога достаточно сложен. Поэтому решение проблемы, на наш взгляд, заключается в использовании специализированных компьютерных программ [8] или графических ресурсов ГИС-программ, которые содержат необходимые операторы для вычисления пространственных функций. Изображение в пространственных координатах проб, связанных случайной функцией, позволяет определить границы искомого объекта.

Прогнозные ресурсы определяются по общепринятой формуле подсчета промышленных запасов. Однако вместо среднего содержания металла в ореоле в формуле используется принятое минимально-промышленное содержание, а площадь рудоносного блока корректируется на величину коэффициента промышленной рудоносности при заданном значении коэффициента промышленной концентрации:

$$Q = (S \cdot K_{\text{Sp}}) \cdot H \cdot d \cdot \text{Cp},$$

где Q — прогнозные ресурсы металла, кг; S — площадь потенциального месторождения, м^2 ; K_{Sp} — коэффициент промышленной рудоносности, равный aK_{Cp}^b ; H — глубина отработки прогнозируемого месторождения, м; d — объемный вес руды, т/м^3 ; Cp — минимальное промышленное содержание металла, кг/т .

Особенности интерпретации и оценки прогнозных ресурсов по вторичным ореолам. Поскольку основной объем опробования при поисках осуществляется по донным осадкам речной сети или почвам, для приведения результатов анализа проб к содержанию элементов в коренных породах предлагается использовать уточненные данные о средних мировых оценках содержания элементов в земной коре [1], фазах стока [6] и почвах [9]. Эти данные содержатся в специально подготовленных таблицах, содержащих сведения о

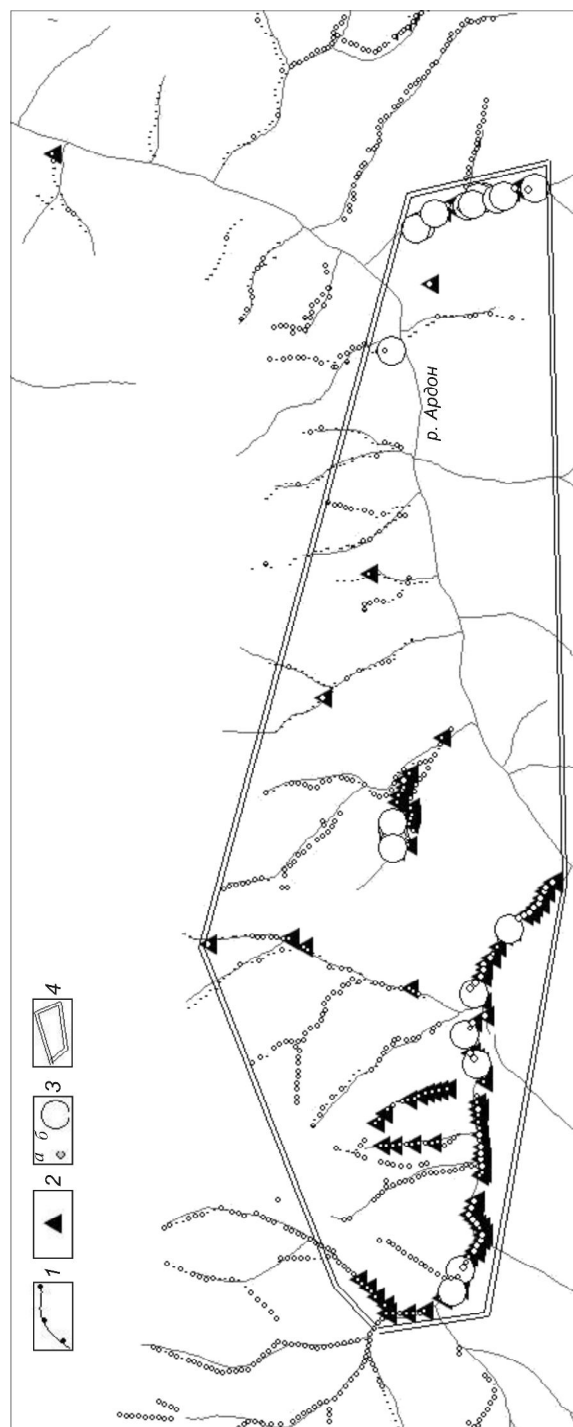


Рис. 2. Схема подсчета прогнозных ресурсов Pb и Zn Садон-Унальского рудного района по результатам донного опробования м-ба 1:50 000:

1 — точки отбора донных проб; 2 — донные пробы с содержанием Pb > 80 г/т; 3 — донные пробы с содержанием Zn > 80 г/т (а), > 200 г/т (б)

физических, геохимических и экономических характеристиках элементов. Пересчет содержания элемента в каждой пробе вторичного ореола на содержание его в коренных породах производится путем умножения исходных данных на «фазовые коэффициенты» денудации, равные отношению содержания элемента в опробованной фазе стока (или в почве) к его кларку верхней части континентальной земной коры.

Описанный метод иллюстрируется табл. 2, составленной на основе ретроспективного подсчета прогнозных ресурсов с использованием промышленных категорий по результатам анализов, заимствованным из базы данных производственных отчетов.

Пространственное распределение проб с содержанием Pb и Zn до 1,5 кг/т из донных осадков ручьев 1–3 порядков Северного Кавказа в районе отработанных Эльбрусских полиметаллических месторождений садонского типа изображено на рис. 1.

Типовые обстановки нахождения разномасштабных объектов садонского типа следующие [3]. Рудные районы — оруденелые зоны разломов древнего заложения в краевых частях приподнятых блоков фундамента и осевых частях грабен-синклиналей чехла. Рудные поля — оруденелые поперечные и продольные брахиантиклинали в приподнятых блоках фундамента, осложненные разрывами, сопряженными с разломами древнего заложения. Месторождения — оруденелые разрывы в поперечных и продольных брахиантиклиналях, сопровождаемые субвулканическими дайками и штоками пород трахилипарит-трахиандезитовой формации.

Для анализа рудоносной структуры на рис. 1 изображены ассоциации элементов, обладающих зональными свойствами в гидротермально-метасоматическом процессе. В северной части рудного района накапливались сидерофильные элементы, в южной — располагается участок, аномальный по концентрации полиметаллов и бария. По содержанию рудных элементов и наличию ореолов надрудного бария можно предположить, что наиболее перспективна южная часть

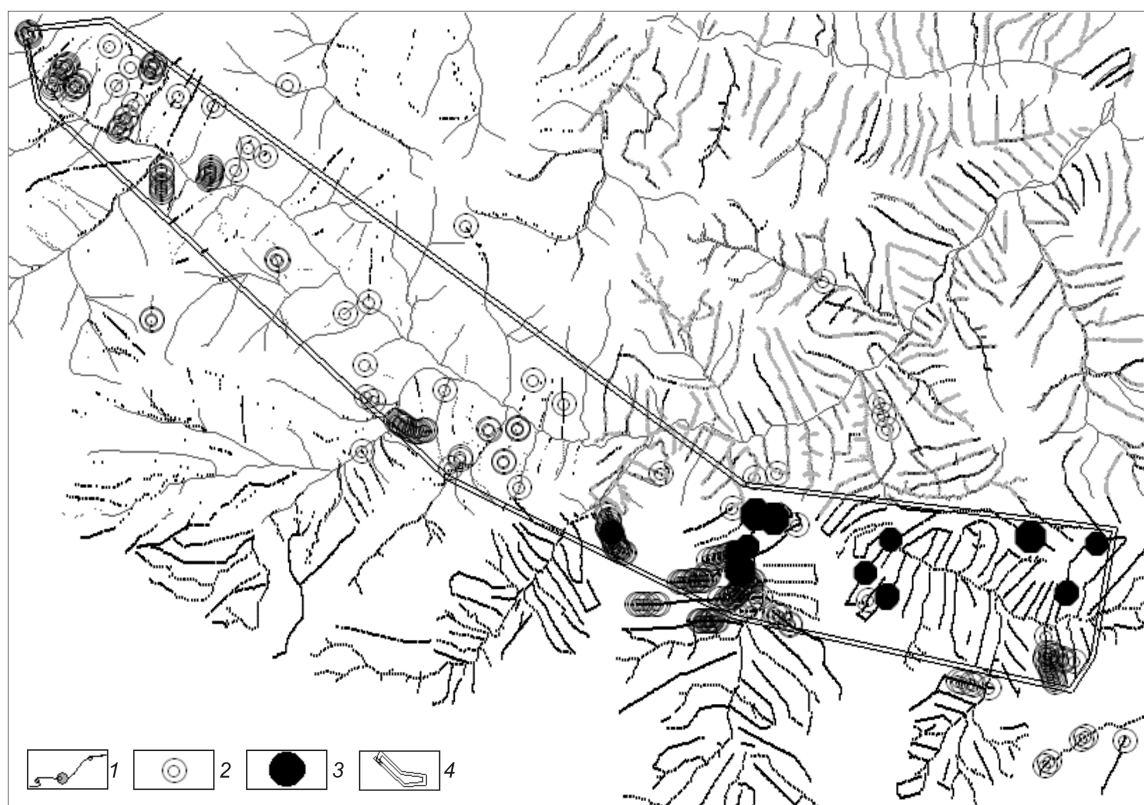


Рис. 3. Схема подсчета прогнозных ресурсов Cu и Zn медноколчеданного месторождения Кизил-Дере по результатам донного опробования м-ба 1:50 000:

1 — точки отбора донных проб; 2 — донные пробы с содержанием Cu > 10 г/т; 3 — то же, Zn > 60 г/т; 4 — контур подсчета прогнозных ресурсов

рудоносной структуры. Выборка проб с этого участка использована нами для контрольного вычисления прогнозных ресурсов месторождения по геохимическим данным. Площадь бассейна водотоков, обогащенных полиметаллами, ~14 км² (ранг потенциального рудного поля). Среднее содержание (кг/т) в донных пробах Zn 0,44, Pb 0,36. Расчетный коэффициент рудоносности для Pb 0,00001, для Zn 0,00004. Отсюда прогнозные ресурсы рудного поля при подвеске на глубину 200 м составят: Pb — 14 000 000 м²·200 м (подвеска)·3 т/м³ (объемный вес)·10 кг/т (минимальное промышленное содержание)·0,00001 (коэффициент рудоносности)=840 т; Zn — 14 000 000·200·3·10·0,00004=3360 т. Общие расчетные ресурсы полиметаллов составят 4,2 тыс. т при изначально числящихся по результатам разведки балансовых запасах 6 тыс. т (Pb+Zn).

Так как в донных пробах эрозионных участков материал взвешенного стока практически отсутствует, исходное содержание Pb и Zn было пересчитано с поправкой на величину «фазовых коэффициентов». Во взвешенных наносах содержание Zn характеризуемого АГХП было увеличено на «фазовый коэффициент», равный 1,67, Pb — на 1,47. С учетом введенных поправок расчетные минимально-промышленные содержания Zn равны 16,7 кг/т, Pb — 14,7 кг/т. Тогда ресурсы Zn составят 5777 т, Pb — 1235 т. Общие прогнозные ресурсы категории P₃ полиметаллов составят 6,8 тыс. т, что сопоставимо с разведанными запасами.*

Расчетные параметры вычисления прогнозных ресурсов эталонного для полиметаллических месторождений жильного типа Садоно-Унальского рудного района [5] приведены на рис. 2. В районе

* В этом и других приведенных примерах прогнозные ресурсы отнесены к категории P₃, так как предполагается, что коренные источники руды еще не найдены.

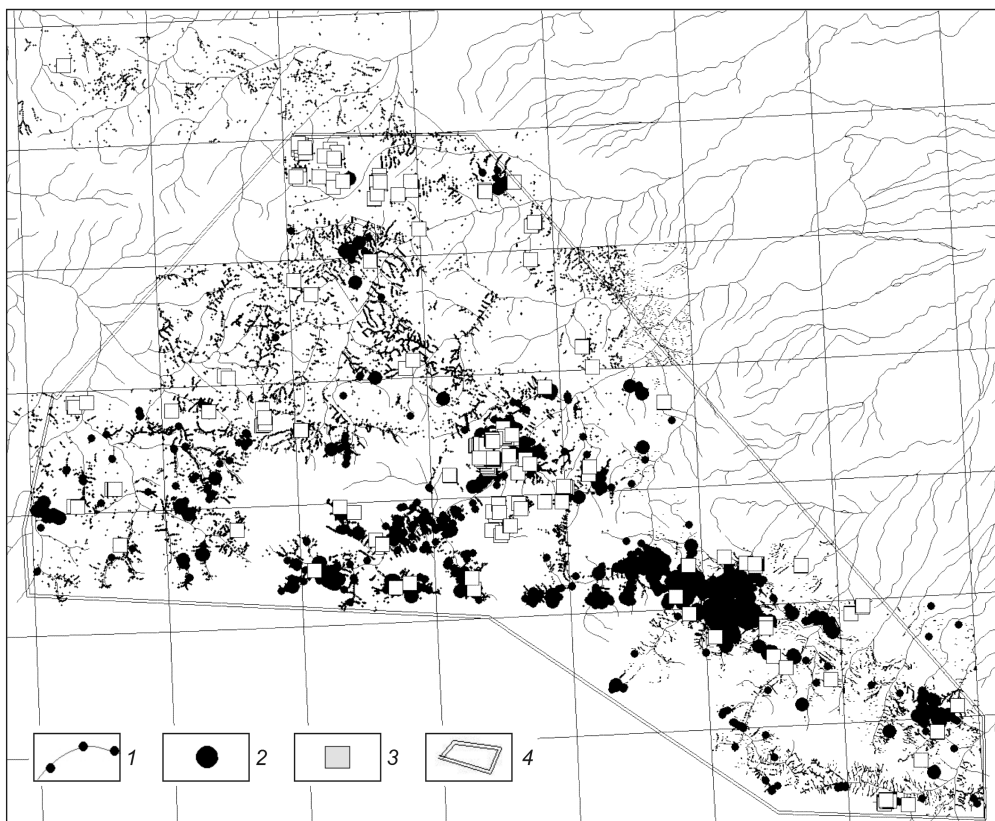


Рис. 4. Схема подсчета прогнозных ресурсов Тырныаузского молибден-вольфрамового рудного района по результатам донного опробования м-ба 1:50 000:

1 — точки отбора донных проб; 2 — пробы с содержанием W > 2 г/т; 3 — то же, Mo > 1,5 г/т; 4 — контуры Тырныаузского рудного района

известны крупные месторождения Садон, Згид, мелкие Мизур, Архон, Унал и др.

Контур расчетного блока ограничивает участок, где имеются донные пробы с содержанием Pb > 20 г/т и Zn > 80 г/т. Общая площадь участка с повышенным содержанием полиметаллов составила 71 км² при среднем содержании Pb в потоках рассеяния 21 г/т, Zn 18 г/т. Ресурсы категории P₃ рудного района с минимальными промышленными содержаниями Zn и Pb по 10 кг/т приведены в табл. 2. Они существенно превышают текущие прогнозные ресурсы категории P₂, так как содержат металл, отработанный за 150 лет добычи в этом районе.

В другом примере приводятся результаты оценки прогнозных ресурсов медноколчеданного месторождения Дагестана Кизил-Дере. Оно представлено двумя крутопадающими залежами в юрских терригенных породах. Длина залежей 700 м, ширина 200 м. На глубину до 1 км промышленные запасы Cu составляют 1 млн. т при среднем содержании

21,4 кг/т, Zn — 24 тыс. т при среднем содержании 21,9 кг/т.

По результатам донного опробования м-ба 1:50 000 выделяется лентообразная геохимическая зона длиной около 12 км, шириной 1,2 км. Северо-западный отрезок зоны длиной 8 км характеризуется существенно медной специализацией, юго-восточная часть — существенно цинковой (рис. 3).

Подсчет ресурсов с использованием геолого-промышленных категорий выполнялся по меди для всей зоны, по цинку для юго-восточной ее части площадью 5,9 км². По результатам вычислений в рудном поле имеется потенциальное месторождение с прогнозными ресурсами категории P₃ около 1,1 млн. т Cu при среднем содержании 3 кг/т, что при равенстве с разведанными промышленными запасами в 7 раз меньше, учитывая качество руды. Прогнозные ресурсы Zn категории P₃ юго-восточной части потенциального рудного поля в 3,5 раза выше промышленных запасов, но в два раза ниже по среднему содержанию Zn (см. табл. 2).

3. Прогнозные геохимические модели основных геолого-промышленных типов месторождений цветных металлов мира, исходные данные Д.Кокса, Д.Зингера [2], фрагмент таблицы

Ранги АГХП, тип месторождений	Аномальное геохимическое поле			Предельно рентабельные	Вблизи горных предприятий (мелкие)	В освоенных районах (средние)	В неосвоенных районах (крупные)	Модель прогнозная	
	РУ (РР)	РП	РМ						
Металлы, $1K_{Cp}$ (кг/т); $1K_{Vp}$ (млн. т)									
Нормированные содержание / объем руды (K_{Cp}/K_{Vp}) <th>R^2</th>									R^2
1. Меднопорфировые (Рут, США)	0,001	0,01	0,1	1	1,7	3,4	6,3	$K_{Cp}=0,8Vp^{0,3}$	1,0
Cu , $1K_{Cp}=3$; $1K_{Vp}=0,5$	2,10E-06	0,00002	0,03	4	13	53	213	$Vp=4,2K_{Cp}^{2,1}$	1,0
2. Молибден-меднопорфировые (Бингхем, США)	0,001	0,01	0,1	1	1,0	1,8	3,1	$K_{Cp}=0,6Vp^{0,2}$	1,0
Cu , $1K_{Cp}=3$; $1K_{Vp}=0,5$	2,00E-10	7,00E-07	0,002	12,4	12,7	96,0	733,0	$K_{Vp}=12,4K_{Cp}^{3,6}$	1,0
3. Молибден-порфировые (Канада, Эндано)	0,001	0,01	0,1	1	0,8	1,1	1,6	$K_{Cp}=0,2K_{Vp}^{0,2}$	1,0
Mo , $1K_{Cp}=0,8$; $1K_{Vp}=0,025$	6,00E-13	0,0000003	0,02	818	213,0	1253,0	7587,0	$K_{Vp}=818K_{Cp}^{4,7}$	1,0
4. Молибден-порфировые (США, Кляймекс)	0,001	0,01	0,1	1	1,6	2,4	3,6	$K_{Cp}=0,4K_{Vp}^{0,2}$	1,0
Mo , $1K_{Cp}=0,8$; $1K_{Vp}=0,025$	2,00E-09	0,0000001	0,0003	119	613,00	2693,00	10 667,0	$K_{Vp}=119K_{Cp}^{3,5}$	1,0

Примечание. K_{Cp} — коэффициент промышленной концентрации, K_{Vp} — коэффициент промышленной рудоносности объемный.

Оценка ресурсов редкометального оруденения скарнового типа показана на примере известного Тырнаузского рудного района, расположенного на северном склоне Главного Кавказского хребта, приуроченного к Пшекиш-Тырнаузской тектонической зоне, сложенной верхнедевонскими — нижнекаменноугольными мраморами и песчаниками [5].

По результатам донного опробования м-ба 1:50 000 выделяется рудный район площадью 7,5 тыс. км²; пробы с повышенным содержанием W и Mo (рис. 4). Прямой подсчет методом геолого-промышленных категорий показал потенциал рудного района по W категории P₃ в 338 тыс. т при среднем содержании металла 1 кг/т, что достаточно хорошо сопоставимо с результатами подсчета прогнозных ресурсов по поисково-разведочным данным. Ресурсы Mo категории P₃ нами оценены в количестве 270 тыс. т при среднем содержании металла 0,8 кг/т.

Анализ результатов прогнозных оценок по геохимическим данным некоторых золоторудных узлов восточных регионов России показывает удовлетворительную сопоставимость с поисково-разведочными данными и заметное расхождение с прогнозными оценками, выполненными по надфоновой продуктивности (см. табл. 2). Это объясняется тем, что геолого-промышленная оценка ресурсов учитывает только руды с содержанием выше минимально-промышленного, тогда как традиционный подсчет — все пробы с содержанием металла выше фона.

Существенное искажение прогноза может получиться также при игнорировании фазовых коэффициентов стока золота, так как при среднем планетарном обогащении золотом аллювия по сравнению с коренными породами в четыре раза взвешенные осадки обогащены в 6,8 раза, а материал влекомого стока только в 1,3 раза. Поскольку соотношение глинистого и песчаного материала в донной пробе, как правило, неизвестно, оценки местных коэффициентов пропорциональности могут значительно варьировать.

На этапе детальных поисков расчетные характеристики прогнозных блоков (K_{Cp} и K_{Vp}) можно сравнивать с параметрами эталонных прогнозных моделей

месторождений ожидаемого геолого-промышленного типа. Образец прогнозных моделей приведен в табл. 3.

Итак, оценка прогнозных ресурсов на стадии поисковых работ с использованием геолого-промышленных категорий основана на применении алгоритмов связи содержания металла и объема минерального сырья ($K_{Cp}-K_{Sp}$). Прогноз минеральных ресурсов по результатам опробования вторичных ореолов и потоков рассеяния производится путем предварительного пересчета результатов опробования на содержание металла в первичном ореоле. Важной особенностью метода является возможность пересчета прогнозных ресурсов на уровень региональных рентабельных промышленных содержаний металла в руде.

Приведенные примеры прогнозных оценок по ретроспективным аналитическим базам данных показали удовлетворительную сходимость с результатами разведочных работ.

В целом использование геолого-промышленных категорий и «фазовых коэффициентов» денудации позволит создать универсальную систему взаимосвязанных количественных оценок уровня накопления рудного вещества в металлогенических структурах разного ранга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, составляющих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
2. Количественное прогнозирование при региональных металлогенических исследованиях / Под. ред. Д.В.Рундквиста. – Л.: ВСЕГЕИ, 1979.
3. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вып. I–XIII / Гл. ред. Волков. – М.-Л.: Мингео СССР, 1986.
4. Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений. – М.: Недра, 1992.
5. Рудные месторождения СССР. Т. 1–3 / Под ред. В.И.Смирнова. – М.: Недра, 1974.
6. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. – М.: ГЕОС, 2006.
7. Силин И.И. Парадигма поисковой геохимии // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 87–97.
8. Шурыгин А.М. Математические методы прогнозирования. – М: Горячая линия-Телеком, 2009.
9. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements. – L.: Acad. Press, 1979.

Вниманию руководителей геологических и горных предприятий!

Изложенный в статье метод количественной оценки промышленных ресурсов на основе вычисления геолого-промышленных категорий апробирован на многочисленных материалах съемочных и поисковых работ, выполненных в различных регионах России. Апробация показала удовлетворительную сходимость с результатами разведки. Для целей прогнозирования используются аналитические результаты геохимического, штучного и бороздового опробования. Возможно использование качественных ретроспективных геохимических данных по вторичным ореолам и потокам рассеяния.

Заинтересованным организациям предлагается сотрудничество при выполнении работ по количественному прогнозу минеральных ресурсов на основе пересчета ретроспективных и текущих аналитических результатов геохимического опробования.

Контактный адрес: igorivsil@gmail.ru (Силин Игорь Иванович, д-р геол.-минер. наук)

УДК 553.41:551.243.33 (574)

© Б.Е.Милецкий, Ю.Л.Шелудяков, 2012

О ПРЕДПОЛАГАЕМОМ ОТКРЫТИИ ПЕРВОГО БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ В СОЛЯНОЙ ТОЛЩЕ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ*

Б.Е.Милецкий (Компания «Geoservices Limited», Израиль). Ю.Л.Шелудяков (РГП «Научный центр противоинфекционных препаратов», Республика Казахстан)

Калиеносные соляные купола Прикаспийской впадины могут быть носителями благородных металлов с оруденением на двух уровнях: в отложениях гипсовых шлям (кепроке), сводовой части куполов, и ниже соляного зеркала — в первичных солях массива. В целях проверки этой идеи впервые в регионе стандартный анализ проб солей на системной основе сопровождался обзорным рентгенофлуоресцентным анализом как сырых солей, так и выделенного из проб нерастворимого остатка. В результате было обнаружено рудопроявление Au-Os-Cu-Ni состава.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, соляной купол, благородные металлы.

Милецкий Борис Ефимович borismil@smile.net.il, Шелудяков Юрий Львович, ysheludykov@rambler.ru

DISCOVERY OF FIRST NOBLE METALS MINERALIZATION OF SALT MASS OF CASPIAN DEPRESSION

B.E.Miletsky, Y.L.Sheludyakov

It is supposed that salt domes with potassium mineralization at the with two levels of mineralization: in the eluvium caprock and below in the mother rock salt. This first assessment was made on the basis of the results of XRF analysis of salt core samples in which, probably for the first time in the Caspian region, assay of the samples was accompanied with survey of the insoluble residue for elements from sodium to uranium. As a resultant Au-Os-Cu-Ni mineralization was discover in the ore.

Key words: Caspian Depression, Salt domes, Noble metals.

Вероятно, уже в самое ближайшее время компанией «Уралкалий» на опытной установке будет получен из соляной субстанции Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМС) новый товарный продукт — первые унции золота. Работами группы ученых Пермского НЦ РАН под руководством А.Ф.Сметанникова доказано повышенное содержание благородных металлов (БМ) в продуктивной толще данного месторождения и их концентрация в нерастворимых остатках. Разработана также технология извлечения металлов из нерастворимого остатка (НО) глинисто-соляного шлама, получаемого при переработке солей. Запатентована методика количественного определения содержания БМ в соляной матрице. В итоге проведенные работы позволили оценить крупнейшее в мире месторождение калийных солей и как сверхкрупный объект Au, Pt и Pd [1]. Со времени открытия ВКМС в 20-х годах прошлого столетия прошло почти 90 лет, и только теперь месторождение становится комплексным.

Как известно, Прикаспийская впадина, сформировавшаяся на древнем кристаллическом фундаменте Восточно-Европейской платформы, — самая

крупная и глубокая тектоническая депрессия в континентальной части литосферы Земли. В осадочном комплексе впадины сосредоточена гигантская масса каменных солей различного состава, слагающая пермскую соляную толщу. Под воздействием тектонических сил эта масса солей преобразовалась в уникальный полигон соляных куполов, которые во многом обуславливают размещение месторождений углеводородного сырья, борно-калийно-магниевого солей и боратов.

Начиная с 30-х годов прошлого века, со времени открытия Индерского месторождения элювиальных боратов, в Прикаспийской впадине, наряду с работами на нефть и газ, проводятся специальные поисковые исследования соляных куполов на бораты и калийные соли. Особенно активно эти работы проводились в 50–70-х годах, когда в СССР резко возросли потребности в борных продуктах как средствах нейтронной защиты. Работы продолжались вплоть до 90-х годов. Автор статьи (Б.Е.Милецкий) еще в 1956–1957 гг. участвовал в первом проекте поисково-разведочных работ на бораты и борно-калийные соли на куполе-гиганте Челкар и до конца 80-х

* По мнению специалистов ЦНИГРИ и по литературным источникам, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) слабо применим для прямого определения благородных металлов в минеральном сырье, в котором содержание Au и платиновых металлов значительно ниже, чем, например, цветных металлов. Поэтому рекомендуется использовать РФА при поиске рудопроявлений благородных металлов для анализа элементов-индикаторов благородных металлов с последующей заверкой данных РФА количественным методом анализа благородных металлов в аттестованных лабораториях. Аналитический центр ЦНИГРИ имеет опыт работы по анализу солей и может сотрудничать с авторами статьи в этом направлении.

годов занимался комплексом геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в пределах казахстанской части впадины. В этот период активного изучения соляных куполов Прикаспийской депрессии тема целесообразности специального или попутного изучения солей на БМ не поднималась. Исследования микроэлементного состава редких и рассеянных элементов солей и боратов практически сводилась только к их оценке на редкие щелочи (Li, Cs, Rb). В постсоветское время все работы на бор и калийные соли в Прикаспии были практически свернуты, а единственная в Западном Казахстане специализированная на поиски солей и боратов Индерская ГРЭ ликвидирована. Можно сказать, что вплоть до самого последнего времени поисковая изученность соляной толщи Прикаспийской впадины на БМ оставалась на уровне, близком к нулевому.

Летом 2009 г. на одном из соляных куполов в казахстанской части Прикаспийской впадины было проведено, вероятно, первое системное опробование на БМ соляной толщи этой структуры. Анализы на БМ начали производиться по инициативе руководителя лаборатории, соавтора настоящей статьи, Ю.Л.Шелудякова и геологов Х.К.Камашева и Е.Н.Кайназаровой, проявивших интерес к идее возможной благороднометалльной рудоносности калиеносных куполов Прикаспийской впадины [3].

На основе закономерной повышенной концентрации БМ в калийных солях автор идеи предполагает, что калийные соли Прикаспийской впадины, подобно таковым ВКМС, тоже могут быть носителями БМ. При этом нерастворимые остатки соляного шлама, получаемого при переработке солей ВКМС, содержащих промышленные концентрации БМ, определены как техногенный прототип так называемых гипсовых шляп (кепрока) соляных куполов. Они представляют собой по существу природные шламохранилища, образующиеся при размыве солей в процессе вздымания соляных масс под действием тектонических сил, и являются, возможно, новым перспективным генетическим типом месторождений БМ [3].

Для проведения рентгенофлуоресцентного анализа солевых проб на основные породообразующие элементы лаборатория компании-недропользователя располагала спектрометром Minipal-4 фирмы «PANalytical» с чувствительностью на элементы от Na до U 3–50 ppm. В целях проверки журнальной публикации [3] было принято решение рутинные анализы солевых проб на основные породообразующие элементы, предусмотренные проектом, сопровождать обзорным анализом методом фундаментальных параметров, не требующим стандартов, на элементы от Na до U наравне с сырыми солями

также нерастворимых в воде остатков проб. Результаты анализов по новой технологии оказались поразительными. Они были доложены руководству компании и получили необходимую легитимацию.

Мы располагаем результатами РФА весьма ограниченного количества проб по одной скважине, пробуренной на соляном куполе. В 30% проб было установлено очень высокое содержание Au, в 75% проб — Os. Кроме БМ, анализами выявлено также стабильно повышенное содержание в пробах Cu и Ni. Скважина в интервале глубин 700–900 м пересекла в солях всего 11 фрагментов минерализованных пластов мощностью от 0,5 до 3 м и суммарной спрессованной мощностью 12,3 м.

В мировой практике РФА стал основным средством массового исследования минеральных материалов, вытеснив методы классической химии и полуколичественного спектрального анализа. Метод фундаментальных параметров является полуколичественным, но в то же время позволяет вполне корректно определять содержание благородных металлов в сплавах ювелирных изделий. По отношению к определению БМ при геологических исследованиях РФА не считается представительным, так как масса пробы в анализируемой навеске составляет всего 10 г, определение ведется в тонком слое, а чувствительность прибора на БМ низкая и не соответствует критериям геологического поиска. Особенно сомнительны результаты РФА как полуколичественного анализа для крупного и средней крупности золота. Но при всем этом каждый элемент определяется прибором не по одной, а по нескольким характеристическим полосам спектра, что исключает возможность случайных совпадений. Кроме того, фиксируя достаточно высокую (в интервале 3–50 г/т) концентрацию Au, этот анализ, на наш взгляд, может приниматься как достоверный качественный и служить индикатором перспективного проявления золота. Тем не менее, в заголовке настоящей статьи мы указываем только на предполагаемое открытие первого рудопроявления БМ в ассоциации с другими ценными металлами.

Практика использования в полевых условиях сравнительно недорогих переносных приборов с несколько загрубленной чувствительностью для экспресс-анализов (как дополнительная при поисках золота по ореолам рассеяния) в определенной обстановке может быть вполне оправданной. Известно, что во многих регионах мира открыты сверхкрупные близповерхностные месторождения БМ, значительная часть которых представлена бедными и труднообогатимыми рудами. Возможно, что со временем, с развитием дистанционных методов поиска и созданием компьютерных геолого-

генетических моделей рудонакопления, на металлогенических планшетах найдут свое место и *сверхбогатые глубинные месторождения*, которые пока еще не выступали в качестве самостоятельной цели геологического поиска.

Обнаруженные в ряде исследованных нами проб ураганные содержания БМ не могли не вызвать недоверия и, безусловно, нуждаются в проверке. Самый простой и совершенно необходимый путь проверки этих анализов — стандартные пробирные и минералогические анализы. Вероятно, они уже существуют, но остаются недоступными для широкого круга геологов. Отсутствие публикаций о полноценных контрольных анализах в данном случае не столько защищает коммерческие интересы недропользователя, сколько наносит ущерб золоторудной отрасли и геологической науке.

В целом имеющиеся качественные анализы, пока не заверенные представительными контрольными, позволяют сделать некоторые предварительные выводы, существенно значимые, по нашему мнению, для изучения БМ Прикаспийской впадины.

Соли калиеносных куполов Прикаспийской впадины могут содержать БМ, и концентрация БМ может превышать уровень 3–50 г/т (по паспорту чувствительность РФА спектрометра Minipal-4 фирмы «PANalytical» для элементов от К до U) и даже 100 г/т (порог чувствительности РФА на Au по оценке лаборатории ЦНИГРИ). Кроме того, представляют интерес стабильные повышенные содержания в пробах Cu и Ni, суммарная концентрация которых может достигать промышленного значения.

Предложенную новую методику аналитического сопровождения стандартного анализа калийных солей на пороодообразующие макроэлементы обзорным анализом на микроэлементы выделенного из пробы нерастворимого в воде остатка, по нашему мнению, целесообразно использовать при исследовании всех ископаемых солей и других, растворимых в воде, хемогенных пород на ранних стадиях геологоразведочных работ. На примере ВКМС считается наиболее представительным так называемый технологический анализ. Сопроводительный анализ нерастворимого остатка солей, применявшийся в нашем случае, хорошо укладывается в русло этого технологического процесса.

Содержание благородных и цветных металлов четко коррелируется с процентной долей нерастворимого остатка в сырых солях, и эти же пробы характеризуются повышенным содержанием кремния. Si-содержащий материал визуально просматривается в керне, хорошо виден на фотографиях поверхности распила керна и может служить индикатором присутствия в пробах БМ и других тяжелых метал-

лов. Вероятно, все золото в Si-содержащих пластах свободное. Процесс обогащения руды и получения комплексного концентрата может сводиться, по сути, только к извлечению нерастворимого остатка путем растворения солей в воде.

Высокие содержания БМ в сырых солях, возможно, не подтвердятся и окажутся рядовыми. Но и в этом случае спрессованная мощность 12,3 м одиннадцати пластов многокомпонентных и легкообогащаемых руд ценных металлов в интервале глубин 700–900 м может быть объектом самостоятельного значения. Значительная глубина залегания вряд ли будет непреодолимым препятствием для освоения малотоннажного проявления дорогостоящих металлов при применении современных технологий. В этой связи очевидно, что силикатный компонент в гипсовой шляпе и соляном массиве купола целесообразно исследовать на содержание БМ «по умолчанию», независимо от целевого задания исполняемого проекта недропользования. В частности, эти работы могли бы выполняться в формате заимствованных из богатого арсенала советского времени массовых поисков урана с адаптацией их для *массовых поисков золота* в современных условиях [4]. Возникнет необходимость также в специальной ревизии материалов ранее проведенных каротажных исследований скважин, вскрывающих разрез солей куполов, в которых было отмечено высокое содержание нерастворимого компонента.

Повышенное содержание БМ в нерастворимой доле солей определенно указывает на повышенную их концентрацию и в породах гипсовой шляпы, а уровень содержания кремния в нерастворимом остатке — это вектор на богатые кремнеземом породы в разрезе гипсовой шляпы. Из опыта работ на бораты известно, что содержание оксида бора в залежах нерастворимых боратов, консолидированных в разрезе отложений гипсовых шляп, в 5–7 раз выше, чем в первичных борно-калийных солях. Такое же соотношение содержания благородных и других тяжелых металлов характерно и для опробованного в нашем случае интервала скважины: в нерастворимом остатке их содержание в несколько раз превышает таковое в первичных солях.

Можно особо отметить, что гипсовые шляпы, известные только в регионах развития солянокупольных структур, создают инвестору важную и привлекательную опцию — возможность отрабатывать на куполах только бораты и минерализованные БМ участки гипсовой шляпы, оставляя нерентабельные для данного времени залегающие под «шляпой» калийные соли *in situ*.

Учитывая выдающиеся новаторские научные идеи о генезисе и рудоносности соляной массы

Прикаспийской впадины, изложенные в монографии П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой [2], в данном случае авторы полагают, что ассоциация Au, платиноидов, Cu и Ni в окремненных зонах терригенных накоплений соляных куполов в центральной наиболее прогнутой части Прикаспийской впадины могла появиться в результате внедрения по тектоническим трещинам потоков глубинных металлоносных флюидов, для которых терригенный материал в толще солей оказался благоприятной средой для накопления рудной минерализации и развития щелочного метасоматоза и гидротермальных процессов. Соотношения содержания К в сырых солях и нерастворимом остатке, равное 1:2, свидетельствует о том, что метасоматоз имел четко выраженный калиевый характер.

В то же время, на обширном пространстве Прикаспийской впадины и Уральского предгорного прогиба соляная толща, будучи результатом эвапоритового процесса и традиционного литогенеза, может, как установлено на ВКМС, содержать и рассеянные БМ. Их источником мог служить мощный размыв и снос продуктов пенеппена кунгурского времени с Уральского складчатого субстрата в солеродный бассейн.

Таким образом, предполагается, что БМ в соляной толще Прикаспийской впадины и Предуральском прогибе могут быть *полигенными* — производными: глубинных рудных флюидов, эвапоритовых бассейнов и остаточного элювия гипсовых шляп.

В пределах Прикаспийской впадины насчитывается >1200 куполов, >100 из них калиеносны. По данным Б.С.Ужкенова, Е.М.Селифонова и А.К.Мазурова [6], на казахстанскую часть Прикаспийской впадины приходится 65 соляно-купольных калиеносных структур с разведанными запасами 101,6 млн. т K_2O . Подтвержденные запасы составляют 53,7 млн. т K_2O (Жилинское месторождение в Актюбинском Приуралье), а общие прогнозные ресурсы по 65 куполам оцениваются в 2,8 млрд. т K_2O [6].

По оптимальному варианту нашего прогноза каждый из этих 65 куполов может оказаться месторождением БМ. С учетом изложенного в границах Прикаспийской впадины возможно существование *бассейна благородных металлов галогенной формации*. Их носителями являются калиеносные соляные купола с размещением золото-платиноидного и медно-никелевого оруденения на двух уровнях: первый — в элювиальных отложениях гипсовых шляп в сводовой части куполов, выше соляного зеркала, второй — в первичных солях куполов. На наш взгляд, опыт геологического прогноза на основе техногенного прототипа — нерастворимых

остатков глинисто-соляного шлама, получаемых при переработке калийных солей на ВКМС, оказался результативным. Есть основания предполагать, что он применим и в других рудно-формационных условиях [5]. Важно также то, что концептуальную проверку сделанного прогноза можно осуществить с минимальными затратами средств и времени.

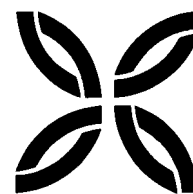
Этап пионерных работ в казахстанской части Прикаспия мог бы ограничиться опробованием, прежде всего, разрезов гипсовой шляпы Индерского купола (площадь свода 265 км²), где элювиальные гипсово-глинисто-карбонатные породы и бораты выходят на поверхность. Одновременно целесообразно опробование еще 2–3 соляно-купольных структур, на которых ранее проводились геологоразведочные работы, в том числе разведанного Жилинского месторождения полигалитов, практически тождественного ВКМС по геологической позиции. В российской части Прикаспия и Уральского краевого прогиба также существует достаточно большой выбор объектов для первого этапа ревизионных работ.

Учитывая те факты, что Прикаспийская впадина это не только самая крупная и глубокая тектоническая депрессия с огромными ресурсами углеводородного сырья, но и самое крупное в мире солехранилище, назрела необходимость системного исследования рудоносности массивов соляных куполов и их гипсовых шляп. Площадь развития отложений соляной серии 470 тыс. км², а общая масса солей впадины, по расчетам геофизиков, составляет порядка $(1-2) \cdot 10^{15}$ т или 1–2 млрд. т. В случае даже невысокой их золотоносности может измениться взгляд на ресурсы минерально-сырьевой базы этого региона, что повлечет приток инвестиций для дальнейшего ее развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благородные металлы Верхнекамского месторождения солей / А.Ф.Сметанников, С.Н.Шанина и др. // Горный журнал. 2006. № 6. С. 65–68.
2. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Флюидно-метасоматические преобразования и рудоносность осадочных толщ Прикаспийского бассейна. — М., 2005.
3. Милецкий Б.Е. Гипсовые шляпы как, возможно, новый генетический тип месторождений благородных металлов // Геология и охрана недр. Алматы, 2009. № 1. С. 103–104.
4. Милецкий Б.Е. Массовые поиски золота // Геология и охрана недр. 2010. № 4. С. 55–62.
5. Милецкий Б.Е. Прогноз на основе техногенного прототипа: Прикаспийский осадочный бассейн благородных металлов галогенной формации // Руды и металлы 2011. № 3–4. С. 120–121.
6. Ужкенов Б.С., Селифонов Е.М., Мазуров А.К. Аналитический обзор инвестиционных возможностей Казахстана. — Кокчетав, 2003.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



Игорю Михайловичу Витковскому — ведущему научному сотруднику отдела конъюнктуры минерального сырья ЦНИГРИ — 30 января 2012 г. исполнилось 75 лет.

И.М.Витковский работает в геологической отрасли России более 50 лет. Прошел трудовой и профессиональный путь от начальника геолого-разведочной партии до главного геолога Управления металлов Роскомнедра. Руководил разведкой крупных россыпных месторождений золота в Центрально-Колымском районе. Им внесен большой вклад в разведку и подготовку к промышленному освоению крупнейших золоторудных месторождений СССР — Васильковское, Кызылалмасай, Даугызтау и др., а также серебро-свинцового месторождения мирового класса — Большой Канимансур.

С 1981 г. И.М.Витковский — ведущий и главный специалист по благородным металлам в Мингео СССР и Роскомнедра. Участвовал в разработке и реализации программ государственного и отраслевого значения по созданию и развитию минерально-сырьевой базы благородных металлов. С 1998 г. И.М.Витковский — ведущий научный сотрудник ЦНИГРИ, ответственный исполнитель крупных научно-технических проектов по воспроизводству и использованию минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов в новых условиях недропользования. Он — участник разработок стратегических программ по развитию минерально-сырьевой базы России, созданию системы мониторинга прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, Атласа золотоносности России, методических положений по применению в новых условиях классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, геолого-экономической оценке месторождений, подготовке подсчета запасов и кондиций на объектах благородных и цветных металлов.

За заслуги в создании минерально-сырьевой базы России И.М.Витковский награжден знаком «Отличник разведки недр». В работе его отличают высокий профессионализм, энергичность и ответственность за порученное дело.

Поздравляем Игоря Михайловича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия, новых творческих свершений.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

Алексей Гордеевич Волчков — заведующему отделом научно-методического сопровождения геологоразведочных работ, кандидату геолого-минералогических наук — 13 февраля 2012 г. исполнилось 70 лет.

С 1966 г. после окончания кафедры полезных ископаемых геологического факультета МГУ А.Г.Волчков работает в ЦНИГРИ. В результате многолетних исследований на медноколчеданных месторождениях Южного и Среднего Урала им лично или при его непосредственном участии составлены прогнозные карты м-бов 1:10 000–1:50 000, для Уральской провинции и отдельных ее территорий — мелкомасштабная прогнозно-металлогеническая карта, оценены перспективы выявления медноколчеданных и медно-порфировых месторождений на востоке Урала. Установлены тесные геолого-генетические и пространственно-временные связи медноколчеданного оруденения с определенными фациями и типами палеоструктур рудоносных формаций. На основе полученных материалов в 1975 г. защищена кандидатская диссертация. В соавторстве разработаны комплексные поисковые модели объектов прогноза и поисков, а также приемы объемного картирования колчеданосных рудных районов, направленные на выявление глубоко залегающих месторождений. Составлен ряд методик и методических руководств по крупномасштабному и локальному прогнозу, поискам и количественной оценке медноколчеданного оруденения. За цикл этих работ в 1987 г. ему в составе авторского коллектива ЦНИГРИ присвоена премия Мингео СССР. При его активном участии составлена прогнозно-металлогеническая карта страны на цветные металлы в м-бе 1:2 500 000 и выполнена серия прикладных разработок по методикам прогнозно-металлогенических исследований применительно к задачам ГСР-200.

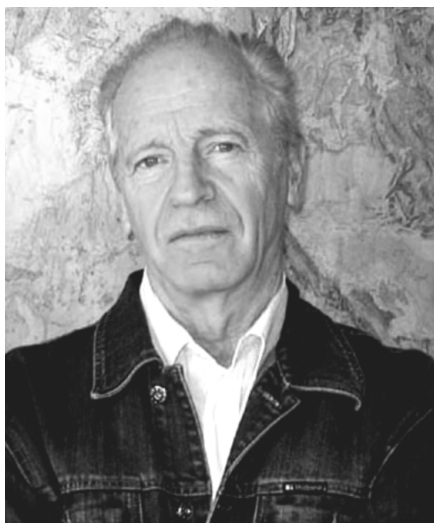


В качестве эксперта А.Г.Волчков работал в Болгарии и Китае, участвовал в выполнении контрактных работ по поискам месторождений золота на Аляске и в Марокко. В последние годы возглавляет один из ведущих отделов ЦНИГРИ, выполняющий за счет средств федерального бюджета работы по методическому обеспечению и сопровождению прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на твердые полезные ископаемые. В результате эффективно решаются задачи поисковых и поисково-оценочных работ, в том числе выбираются наиболее перспективные объекты для включения в текущие планы ГРР Роснедра для различных видов минерального сырья, проводится подготовка документов, регламентирующих выполнение ГРР на объектах РФ, составляются заключения по качеству и результативности ГРР, апробации прогнозных ресурсов.

Научные исследования А.Г.Волчкова отражены в 134 публикациях, в том числе в десяти монографиях; его труд отмечен правительственными и отраслевыми наградами. Высокий профессионализм, преданность делу, трудолюбие и доброжелательность отличают его научно-организационную работу.

Сердечно поздравляем Алексея Гордеевича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



18 января 2012 г. исполнилось 75 лет доктору геолого-минералогических наук, академику Международной академии информатики и Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан, профессору **Владимиру Львовичу Лосю**.

В.Л.Лось работал в геологических и геолого-геофизических экспедициях на поисках и оценке месторождений цветных, редких и благородных металлов в Центральном Казахстане и Северном Прибалхашье (1959–1965 гг.), старшим научным сотрудником и заведующим лабораторией Казахского института минерального сырья (1965–1997 гг.), экспертом по геохимическим поискам и компьютерным технологиям от компании Ltd. Ionex (Сидней, Австралия, 1995–1997 гг.), главным научным сотрудником Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан (1997 г.), заведующим лабораторией Республиканского Государственного

предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» (2001–2008 гг.), ме-неджером по геохимии и геомоделированию геологоразведочного управления «Казцинк-ГЕО» ТОО «Казцинк» (2005–2008, 2011 гг. и по настоящее время), профессором кафедры горного дела ВКГТУ им. Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск (2010 г. по настоящее время).

В.Л.Лось — организатор научных семинаров, совещаний, конференций, член редакционных коллегий журналов «Геология и охрана недр» и «Горное дело». Его научные разработки в области математических методов в геологии, металлогении, прогнозе рудных полезных ископаемых с количественной оценкой прогнозных ресурсов, моделировании рудных месторождений, математическом и компьютерном моделировании процессов рудообразования, геохимических поисках скрытых рудных месторождений, синергетике геологических систем содержатся в более чем в 220 публикациях в научных журналах, сборниках и трудах конференций СССР, Казахстана, стран СНГ и дальнего зарубежья, в том числе в семи отдельных изданиях.

За заслуги в развитии геологической науки и практики В.Л.Лосю присвоено звание лауреата премии Министерства геологии СССР за вклад в научно-технический прогресс в геологии (1989 г.) и лауреата премии им. академика Ш.Е.Есенова за цикл исследований по теоретическому обеспечению и технологиям прогнозных поисковых работ на рудные полезные ископаемые (2008 г.).

Поздравляем Владимира Львовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих удач.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

Известному ученому-геологу, доктору геолого-минералогических наук, академику РАЕН, лауреату Государственной премии СССР, Почетному разведчику недр **Валерию Александровичу Нарсееву** 5 февраля 2012 г. исполнилось 80 лет.

В.А.Нарсеев работал в производственных организациях Восточно-Казахстанского территориального геологического управления, где зарекомендовал себя подготовленным специалистом, умелым полевиком, отличным организатором производства. Поступив в КазИМС, за 15 лет он прошел путь от инженера до заместителя директора по научной работе. Лично им и под его руководством были выполнены научно-исследовательские работы по пегматитовым полям Калбы, металлогении тантала Восточного Казахстана и КазССР в целом, золоторудным месторождениям Бакырчик, Васильковское, Жолбарты, Архарлы, Акжал, Ку-луджун, Бестюбе.

В 1975–1980 гг., будучи заместителем директора КазИМС по науке, В.А.Нарсеев участвовал в составлении карт прогноза для территории Казахстана по различным видам полезных ископаемых. Одновременно с научно-производственной деятельностью разрабатывал вопросы теории рудообразования, в частности полимеризации при отложении минералов, теории зональности рудных месторождений, активно участвовал в научных конференциях, симпозиумах, семинарах, поддерживая связи с учеными и специалистами десятков городов Советского Союза.

В 1980 г. В.А.Нарсеев был назначен директором ЦНИГРИ. Основные усилия коллектива он сосредоточил на вопросах развития института, улучшения его кадрового и технического обеспечения. Был введен в строй новый корпус с конференц-залом, библиотекой, фондами, столовой. Для технологических и аналитических отделов приобретались новая аппаратура и оборудование, началась компьютеризация НИР, существенно изменилась структура ЦНИГРИ — повысился статус его иногородних подразделений. Благодаря внедрению перспективной формы совместных исследований ЦНИГРИ и производственных подразделений — научно-производственных групп — возросло качество разведки основных месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. С высокими оценками в ГКЗ СССР были утверждены запасы по месторождениям Олимпиадинское, Майское, Васильковское, Покровское, Высоковольтное, Кум-торское, Зун-Холбинское (золото), Большой Канимансур (серебро), Кумдыколь, Ломоносовское (алмазы), Учкулачское, Хандизинское, Филизчайское (цветные металлы) и ряду других.

В.А.Нарсеев продолжает научные исследования по зональности рудных месторождений и золотоносности черносланцевых толщ. По этой проблематике им опубликованы несколько монографий и десятки статей. Под его научным руководством защищено 15 кандидатских диссертаций.

С 1990 г. В.А.Нарсеев — эксперт в ряде крупных компаний США, Монголии, Англии, России, Казахстана, Испании; в настоящее время успешно сотрудничает с ЗАО «Норит». В.А.Нарсеев по-прежнему коммуникабелен, внимателен к людям, следит за развитием геологической отрасли и науки. За 50 лет работы в геологической отрасли им опубликованы десятки отчетов, более 200 статей и 15 монографий.

Поздравляем Валерия Александровича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, успехов и добрых встреч на дорогах жизни.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



25 января 2012 г. исполнилось 80 лет старшему научному сотруднику отдела экзогенных месторождений благородных металлов, кандидату геолого-минералогических наук **Светлане Васильевне Яблоковой**.

С.В.Яблокова работает в ЦНИГРИ с 1953 г. Изучала условия локализации и строения ильменит-циркониевых и золотых россыпей, исследовала рудные и россыпные месторождения многих регионов России, Казахстана, Средней Азии, Америки, Африки. Участвовала в комплексных металлогенических исследованиях, отраслевых программах по прогно-

зированию, оценке и подсчету запасов месторождений золота, составлении банков данных по минералогии россыпного золота и разработке моделей самородного золота месторождений разных типов. Она — первооткрыватель золоторудного месторождения в Магаданской области, автор научно-методических разработок по общей и прикладной минералогии, один из ведущих специалистов по исследованию самородного золота и развитию проблемы его типоморфизма. Ее данные по золоту кор выветривания Олимпиадинского и Куранахского месторождений использованы при подсчете запасов. За участие в составлении Карты экзогенной золото- и платиноносности территории Российской Федерации удостоена звания лауреата премии Правительства РФ за 2000 г.

С.В.Яблокова — один из авторов Атласа самородного золота рудных и россыпных месторождений России (2003 г.), автор и соавтор более 140 работ, в том числе пяти монографий, ряда методических руководств и рекомендаций по проведению минералогических исследований при геологоразведочных и криминалистических работах. В последние годы под руководством С.В.Яблоковой и при ее непосредственном участии создан банк данных по самородному золоту коренных и россыпных месторождений, в который впервые включен полный спектр элементов-примесей в золоте и заложено новое направление в использовании геохимических особенностей золота как прогнозно-поисковых критериев. Ее исследования высоко оценены не только в нашей стране, но и за рубежом.

Поздравляем Светлану Васильевну с юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья, дальнейших творческих достижений.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

Требования к авторам статей

1. Рукопись статьи подготавливается в соответствии с образцом оформления и представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.

2. К статье прилагается справка об авторе (авторах), в которой указываются фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, место работы, адрес для переписки (почтовый), телефон, e-mail каждого автора.

3. Объем статьи — 15 страниц, включая таблицы и список литературы. Поля страницы — сверху и снизу по 2 см, справа 1 см, слева 3 см. Все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два варианта — распечатка с принтера и электронный вариант в Text format (*.rtf), (*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). Текст, таблицы, рисунки помещаются в отдельные файлы. Таблицы должны иметь названия, набираются без сокращения слов (размер 10, один межстрочный интервал). Возможна передача статей по электронной почте: tsnigri@tsnigri.ru с пометкой для журнала «Руды и металлы».

4. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 3.0.

5. Список литературы приводится в конце статьи с нумерацией источников по алфавиту. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы. Подписи подписываются на отдельной странице после списка литературы.

6. Рисунки и другие графические материалы (черно-белые, не более 5) прилагаются в печатном и электронном вариантах. На обратной стороне распечатки каждого рисунка карандашом указываются его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формат страницы журнала (23×16). Цифры и буквы в условных обозначениях, вынесенных за пределы рисунка, даются курсивным шрифтом. Текстовые и цифровые надписи на рисунках набираются на компьютере (шрифт 8), толщина линий рисунка — не менее 0,2 мм. Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: TIFF — только для фото (*.tif), Corel Draw (*.cdr), Диаграмма Microsoft Excel (*.xls). Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются.

8. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

9. В целях облегчения редактирования статей редколлегия просит авторов использовать термины и понятия в значениях, отраженных в следующих изданиях:

Толковый словарь английских геологических терминов. Пер. с англ. / Под ред. Н.В.Межеловского. — М.: Геокарт, 2002.

Российский металлогенический словарь / Под ред. А.И.Кривцова. — СПб: ВСЕГЕИ, 2003.

Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях / Под ред. А.И.Кривцова, В.М.Терентьева — СПб.: ВСЕГЕИ, 1991.

Главный редактор,
доктор геол.-минер. наук,
профессор

И.Ф.Мигачев

Порядок оформления статей, представляемых в журнал «Руды и металлы»

Настоящий порядок вводится с 2010 г. в соответствии с рекомендациями ВАК
Министерства образования и науки Российской Федерации и унификацией для
Научной Электронной Библиотеки (НЭБ)

Образец оформления статьи

УДК.....

© А.С.Барышев, К.Н.Егоров, 2009

**О совершенствовании методики поисков перекрытых коренных источников
алмазов**

А.С.Барышев, К.Н.Егоров (Институт земной коры СО РАН)

Аннотация (на русском языке, не более 5–7 строк).....
.....
.....
.....
.....
.....

Ключевые слова (на русском языке, не более 5–7 слов).....
.....

Название статьи (на английском языке, полужирным шрифтом)

Фамилии авторов (на английском языке, полужирным шрифтом)

Аннотация (на английском языке, не более 5–7 строк).....
.....
.....
.....
.....
.....

Key words (не более 5–7 слов).....
.....

Контактная информация: почтовый адрес, *e-mail* для переписки, телефон.....

ТЕКСТ СТАТЬИ (см. требования к авторам статей).....