

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

4/2010

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Зам. главного редактора А.И.КРИВЦОВ
Зам. главного редактора Н.И.НАЗАРОВА

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

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

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

Москва ЦНИГРИ 2010

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

Сдано в набор 26.07.10 г.
Подписано в печать 02.08.10 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 313-43-47
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2010

Официальные материалы

Президиум правительства РФ одобрил стратегию развития ГРР до 2030 г.
В.Путин назвал среди приоритетов развитие ГРР
Стратегия развития ГРР до 2030 г. разграничивает вклад государства и бизнеса

5

Official documents

The Russian government approved exploration development strategy up to 2030
V. Putin assigned priority to exploration development
Exploration development strategy up to 2030 discriminates between state and business contribution

Прикладная металлогения*Шкодзинский В.С.*

Происхождение рудоносных гидротерм в кислых магмах

7

Applied metallogeny*Shkodzinsky V.S.*

Genesis of ore hydrothermal fluids in acid magmas

Строение рудных месторождений*Сначев А.В., Савельев Д.Е., Сначев В.И.*

Палладий-золото-редкометаллическая ассоциация в углеродистых сланцах зигазино-комаровской свиты, Южный Урал

14

Anatomy of ore deposits*Snachev A.V., Saveliev D.E., Snachev V.I.*

Palladium-gold-rare-metallic geochemical association in carbonaceous slates of Zigazino-komarov suite, Southern Urals Mountains

Позднякова Н.Н.

Типоморфизм золота россыпей Шахтаминского рудного района, Восточное Забайкалье

20

Pozdnyakova N.N.

Typomorphic features of native gold in placers of Shakhhtama ore-bearing district, Eastern Trans-Baikal region

Кошкарёв Д.А., Егоров К.Н., Карпенко М.А., Маковчук И.В.

Основные параметры алмазности геолого-технологических типов кимберлитовых руд трубки Юбилейная, Якутия

27

Koshkarev D.A., Egorov K.N., Karpenko M.A., Makovchuk I.V.

General parameters of diamond potential of the kimberlite ores geologo-technological types from the largest diamond deposit pipe Yubileynaya of Yakutia

Комплексное использование минерального сырья*Остапенко Н.С., Нерода О.Н., Миронюк А.Ф.*

Возможные пути использования техногенных россыпей золота Приамурья

35

Multi-component usage of mineral resources*Ostapenko N.S., Neroda O.N., Mironyuk A.F.*

Possible ways of using of technogenic gold placers in Priamurye

Заулочный П.А.

Эффективная двухстадийная технология бактериального окисления упорного золото-сульфидного сырья

45

Zaulochny P.A.

The two-stage biooxidation technology for the refractory gold-bearing concentrates treatment

Дискуссии**Discussions***Вихтер Б.Я.*

Типизация золоторудных месторождений для прогноза, поиска и оценки

49

Vikhter B.Y.

Grouping gold deposits for their prognosis, exploration, and evaluation

Лихачев А.П., Ручкин Г.В.

Использование геофизических данных для прогнозно-металлогенического районирования, на примере Северного Урала

56

Likhachev A.P., Ruchkin G.V.

Using geophysical data for forecast-metallogenic zoning as an example of the Northern Urals

Зарубежный опыт**News from abroad***Сорокин А.Б.*

Оригинальный способ отработки россыпей в Перу

68

Sorokin A.B.

Original technique of the placer mining in Peru

Поздравляем с юбилеем**Our congratulations:**

Г.М.Гейшерики, И.Н.Кочерова, А.Ф.Морозова, И.Я.Полывянного

72

G.M. Geisherik, I.N. Kocherov, A.F. Morozov, I.Ya. Polyvyanny

ОФИЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ***ПРЕЗИДИУМ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ ОДОБРИЛ СТРАТЕГИЮ РАЗВИТИЯ ГРР
ДО 2030 Г.**

На брифинге по итогам заседания президиума министр природных ресурсов России Юрий Трутнев отметил, что на заседании подведены итоги программы воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ.

По результатам реализации этой программы открыто более 500 месторождений полезных ископаемых, вложения в ГРР выросли с 2004 по 2009 гг. в 4 раза, количество проводившихся аукционов за этот период увеличилось в 7 раз, доходы государства от продажи прав на недропользование возросли в 12 раз, а поступления от налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ) — в 6 раз. При этом, по словам министра, за предыдущие годы было обеспечено воспроизводство таких полезных ископаемых, как нефть, газ, уголь, драгоценные металлы и цементное сырье, а по уровню запасов нефти Россия в 2010 г. вышла на уровень 1999 г.

«Таким образом, отрасль развивалась, и ликвидирован тот разрыв между производством и потреблением, который был создан за 15 лет недовоспроизводства минерально-сырьевой базы», — сказал Ю.Трутнев. Тем не менее, по его словам, запасы полезных ископаемых в России нуждаются в постоянном обновлении, а с повышением изученности территорий трудоемкость геологии будет возрастать. Кроме того, министр признал, что на мировом рынке существует достаточно высокая конкуренция как в части разведки, так и в части добычи и продажи полезных ископаемых.

Говоря о развитии государственного сектора в геологии, Ю.Трутнев сообщил о проведении работ по акционированию производственных компаний в этой сфере. Он отметил, что Минприроды в течение двух лет намерено завершить работу по акционированию государственных активов, их консолидации и созданию АО «Росгеология».

В.ПУТИН НАЗВАЛ СРЕДИ ПРИОРИТЕТОВ РАЗВИТИЕ ГРР

Премьер-министр РФ Владимир Путин на заседании президиума назвал в качестве приоритетов: развитие геологоразведки; крупномасштабные исследования в труднодоступных районах; создание условий для развития малых и средних предприятий в геологоразведке.

Сейчас первоочередные задачи в геологоразведке в России решены. По большинству видов полезных ископаемых удалось добиться превышения объемов разведки над объемами добычи, сказал глава правительства. Теперь, отметил он, необходимо работать на перспективу, создавать условия, чтобы отечественная промышленность была надежно обеспечена сырьем на долгие годы вперед. Необходимо также более четко разграничить сферы ответственности государства и бизнеса в вопросе воспроизводства запасов полезных ископаемых. При этом государство должно финансировать ранние стадии геологоразведки, а затем предоставлять бизнесу возможность для проведения детальных исследований, необходимых для разработки конкретных месторождений. Также, по словам В.Путина, необходимо максимально обеспечить доступ к государственным информационным ресурсам, в частности, перевести в электронный вид геологические архивы. Он напомнил, что по инициативе правительства принят закон, отменяющий плату за предоставление геологической информации о недрах.

* Вестник золотопромышленника. Бюллетень № 20 (220). 21 июня 2010 г.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГРП ДО 2030 Г. РАЗГРАНИЧИВАЕТ ВКЛАД ГОСУДАРСТВА И БИЗНЕСА

Стратегия развития геологической отрасли РФ до 2030 г. разработана Минприроды РФ для формирования высокоэффективной системы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы (МСБ), обеспечивающей решение поставленных перед геологической отраслью задач на современном этапе и в долгосрочном периоде.

Важными направлениями стратегии являются снижение административных барьеров, развитие системы информационно-аналитического, научно-технического и кадрового обеспечения геологоразведочных работ.

В стратегии конкретизированы функции и сфера ответственности государственного сектора геологической отрасли, разграничен вклад государства и бизнеса в воспроизводство МСБ. В частности, в сфере воспроизводства МСБ по твердым полезным ископаемым государственный заказ в ряде случаев может включать проведение геологоразведочных работ с поисково-оценочной и разведочной стадиями.

Ключевую задачу, стоящую перед отраслью, — повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр — предлагается решить на основе совершенствования программно-целевого планирования, нормативно-правового обеспечения недропользования, принципов размещения и исполнения госзаказа, системы лицензирования пользования недрами, введения механизмов экономического стимулирования ГРП. Получит развитие планирование ГРП в пределах естественных границ минерагенических провинций и минерально-сырьевых центров, выделяемых с учетом возможностей транспортной и энергетической инфраструктуры.

Реализация стратегии предусматривается в три этапа: первый этап — 2010–2012 гг., второй этап — 2013–2020 гг. и третий этап — 2021–2030 гг.

На первом этапе планируется создание первоочередных нормативно-правовых и экономических механизмов развития отрасли.

На втором этапе предполагается завершение институциональных преобразований, связанных с совершенствованием системы государственного управления геологической отраслью, системы сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления в пользование информации, усилением научно-технического и кадрового обеспечения ГРП.

На третьем этапе в результате введения в действие свободного оборота геологической информации, заявительного принципа получения и свободного оборота поисковых лицензий ожидается, что инвестиционная привлекательность геологоразведочной деятельности в России значительно вырастет. С этого времени средства федерального бюджета будут направляться преимущественно на региональное геологическое изучение и картирование территории, ее континентального шельфа, акваторий внутренних морей, дна Мирового океана, Арктики и Антарктики.

В стратегии предлагается оптимизировать организационную структуру госсектора отрасли посредством преобразования федеральных госпредприятий информационно-экспертного профиля в бюджетные учреждения в ведении Роснедр; акционирования научных ФГУП, осуществляющих научно-аналитическое обеспечение выполнения возложенных на Роснедра госфункций по геологическому изучению недр и воспроизводству МСБ, и консолидации специализированных по видам ГРП и полезных ископаемых геологических организаций в форме акционерного общества, в уставный капитал которого предлагается передать акции ОАО и акции преобразованных в ОАО ФГУПов, объединенных научно-производственными связями.

Стратегия направлена на совершенствование научно-технического обеспечения ГРП, повышение обеспеченности геологических организаций специалистами геологического профиля на основе разработки и реализации программы подготовки и переподготовки кадров.

В результате реализации стратегии геологическая отрасль должна быть переведена на качественно новый уровень, что позволит повысить геологическую изученность страны, обеспечить воспроизводство минерально-сырьевой базы, рациональное недропользование и снижение ущербов от негативных геологических процессов и явлений.



ПРОИСХОЖДЕНИЕ РУДОНОСНЫХ ГИДРОТЕРМ В КИСЛЫХ МАГМАХ

В.С.Шкодзинский (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск)

По опубликованным экспериментальным данным рассчитана P-T диаграмма распределения летучих и рудных компонентов в кислых магмах. Показаны участки наиболее высокого содержания различных рудных компонентов во флюиде, отражающие условия зарождения высокорудносных гидротерм. Объясняется стадийность рудообразования, зональность распределения оруденения и связь наиболее богатых месторождений с глубинными частями гранитных интрузий. Рассмотрены закономерности распределения гидротермального оруденения в Верхояно-Кольмской складчатой области.

Ключевые слова: генезис гидротерм, стадийность рудообразования, зональность оруденения. Шкодзинский Владимир Степанович, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

GENESIS OF ORE HYDROTHERMAL FLUIDS IN ACID MAGMAS

V.S.Shkodzinskiy

It was calculated the P-T diagram of volatile and ore components distribution in acid magmas on basis published experimental data. It was showed the areas of the greatest content of different components in fluid on this diagram. These areas are showing conditions of origin hydrothermal fluids with the highest content of ore components. These results allow explain genesis of ore formation stages, of ore zonation, and of connection of the richest deposits with deep parts of granite intrusions. It was explained the genesis of placing of hydrothermal ores in Verchojano-Kolyma fold belt.

Key words: genesis of hydrothermal fluids, stages of ore formation, ore zonation.

Выяснение генезиса рудоносных гидротерм имеет основополагающее значение для установления закономерностей образования, размещения, эффективного прогноза и успешного поиска широко распространенных гидротермальных месторождений. Наиболее популярны и обоснованы представления об отделении гидротерм от кристаллизующихся в земной коре магм преимущественно кислого состава. При этом недостаточно ясны причины разнометальности и различной рудоносности гидротерм одних и тех же интрузий, стадийности образования и зональности размещения оруденения. Учитывая сказанное, а также огромные размеры некоторых металлогенических зон и гигантские запасы в них рудных компонентов, ряд исследователей считают источником рудоносных растворов мантию. Однако с физико-химической точки зрения бедность летучими пород мантии и высокие значения P и T исключают возможность зарождения в ней гидротерм. Другие исследователи на основании большой удаленности некоторых месторождений от вскрытых на современном срезе интрузий и заметных различий их по возрасту относят месторождения к метаморфогенным, сформировавшимся в результате мобилизации летучих и рудных компонентов из осадоч-

ных толщ. Несмотря на принципиальную возможность такого генезиса, многие месторождения, относимые обычно к метаморфогенным, обладают признаками образования из магматогенных гидротерм — снижение температуры в процессе формирования, стадийность минералообразования и содержание элементов-примесей, типичных для связанных с магмами месторождений.

P-T диаграмма распределения летучих и некоторых рудных компонентов в кислых магмах. Для решения проблемы генезиса рудоносных гидротерм и выяснения закономерностей гидротермального рудообразования в областях распространения магматических пород необходима разработка количественных моделей поведения летучих и рудных компонентов в магмах. Такая модель была рассчитана на основании опубликованных экспериментальных и петрологических данных (рис. 1). Расчеты проводились для серии изобарических сечений диаграммы, одно из которых показано на рис. 2.

На диаграмме сплошные линии $2,5\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}^\Phi$ и $0,1\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}^\Phi$ разграничивают поля разного фазового состава магм и отражают, соответственно, первое появление флюидной фазы при кристалли-

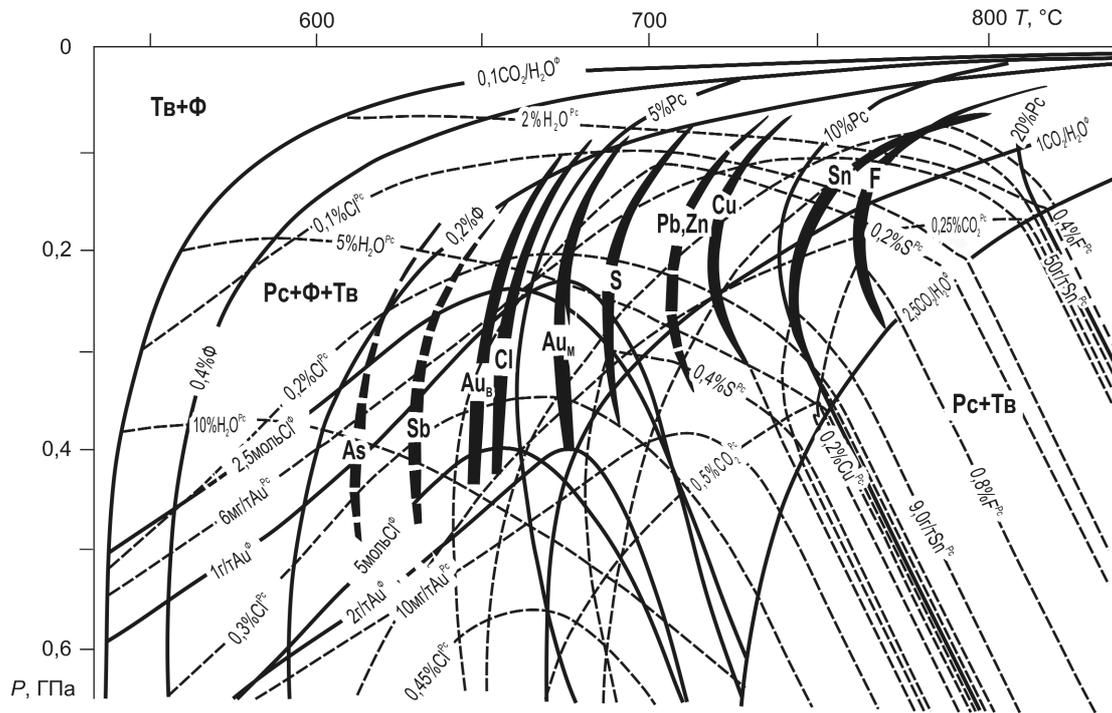


Рис. 1. *P-T* диаграмма распределения рудных и летучих компонентов во фракционирующих высокотемпературных кислых магмах с исходным содержанием H_2O 1, CO_2 и F по 0,1, Cl 0,03, S 0,05%, Sn 10, Au 0,002, Cu и Pb по 2, Zn 6, Sb 0,2, As 0,15 г/т при коэффициентах распределения этих компонентов между расплавом и твердыми фазами соответственно 2, 2, 10, 2, 4, 5, 1, 5, 2, 2, 5, 5 [1]: толстые изогнутые линии — условия отделения наиболее высокорудноносных гидротерм; Тв — твердая фаза, Ф — флюид, Pс — расплав

зации с массовым отношением в ней CO_2 к H_2O , равным 2,5, и полное затвердевание магм при отношении CO_2 к H_2O во флюиде 0,1, равном исходному отношению этих компонентов в магме. Сплошными линиями показаны также изоконцентраты флюида (0,2%Ф, 0,4%Ф) и расплава (5%Pс, 10%Pс и 20%Pс), линии равных содержаний рудных и летучих компонентов и равных отношений CO_2 к H_2O во флюиде (5моль.СlФ, 1г/тAuФ, 1 CO_2/H_2O Ф и др.). Пунктирные линии (0,45СlPс, 10мг/тAuPс и др.) — изоконцентраты летучих и рудных компонентов в расплаве. Исходные данные и методика расчетов подробнее приведены в работах [8, 9].

Толстые изогнутые линии — *PT* - условия максимумов содержаний рудных и некоторых летучих компонентов во флюиде при субизобарической кристаллизации и фракционировании магм — показывают области зарождения наиболее высокорудноносных гидротерм. Толщина их пропорциональна величине максимум.

Пунктирные линии рассчитаны приближенно в связи с недостатком экспериментальных данных. Существование данных максимумов установлено

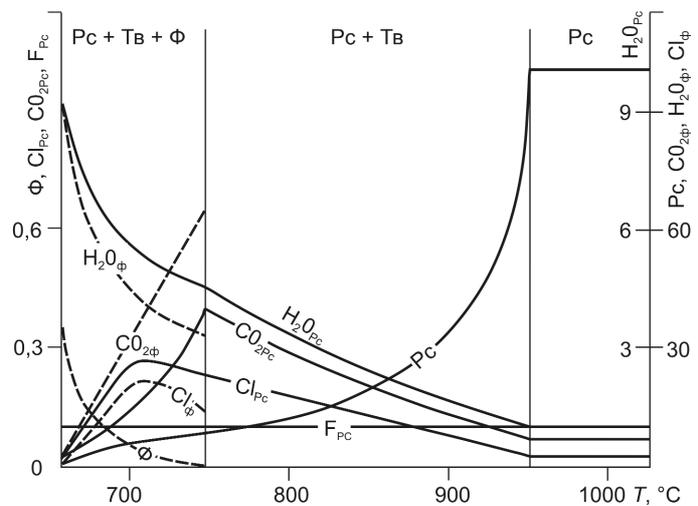


Рис. 2. Изменение процентного содержания расплава, флюида и летучих компонентов в этих фазах в кислых магмах с ростом температуры при давлении 0,4 ГПа

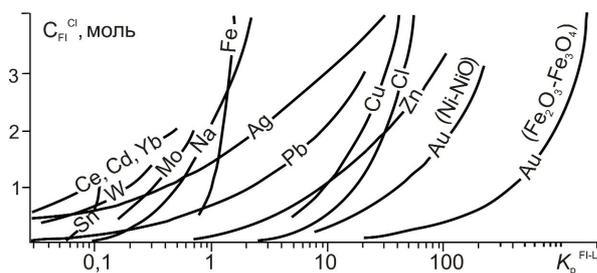


Рис. 3. Влияние содержания хлора во флюиде на коэффициент распределения рудных компонентов между флюидом и кислым расплавом [3, 4, 11–13]

влено впервые. Оно обусловлено наличием двух противоположных тенденций в магмах [9]. При высокой температуре и низком содержании твердых фаз кристаллизация магм приводит к увеличению в остаточном расплаве концентраций большинства рудных компонентов, поскольку коэффициент распределения их между расплавом и твердыми фазами значительно больше единицы [1]. При достижении некоторых высоких концентраций начинается выделение фаз, содержащих рудные или летучие компоненты в большом количестве, например, касситерит, вольфрамит, сульфиды, топаз. При дальнейшей кристаллизации содержание, соответственно, Sn, W, S, F в расплаве начинает уменьшаться, так как емкость образованных ими фаз в отношении соответствующих компонентов несравненно выше, чем у расплава. То есть максимумы концентраций рудных и некоторых летучих компонентов во флюиде совпадают с областями первого появления фаз, содержащих эти компоненты в большом количестве.

Некоторые следствия, вытекающие из диаграммы. Существование указанных выше максимумов позволяет объяснить многие ранее непонятные явления в гидротермальном рудообразовании. Как частично иллюстрирует диаграмма, изливающиеся на земную поверхность высокотемпературные магмы с незначительным содержанием твердых фаз потеряют летучие при низкой концентрации рудных компонентов в расплаве и флюиде и в них не смогут возникнуть высокорудоносные гидротермы. Это объясняет обычно незначительное распространение автохтонного оруденения в лавовых толщах. Если же медленная кристаллизация сопровождается отсадкой твердых фаз и происходит, например, при давлении 0,4 ГПа, то при содержании остаточного расплава 4% концентрация Au и Cl в нем будет соответственно в 5 и 10 раз выше, чем в исходной магме (см. рис. 1).

Хлор очень сильно повышает растворимость золота и многих других рудных компонентов во флюиде (рис. 3). Так, при высоком окислительном потенциале (буфер $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Fe}_3\text{O}_4$) повышение его концентрации в этой фазе с 0,2 до 5 молей (см. рис. 1) приведет к увеличению содержания золота в ней при неизменной концентрации последнего в расплаве в 100 раз (см. рис. 3), а с учетом повышения этой концентрации — в $5 \cdot 100 = 500$ раз. Несмотря на упрощенность расчета, он наглядно иллюстрирует существование тенденции резкого повышения рудоносности гидротерм с увеличением глубины их отделения от кристаллизующихся магм.

Данная тенденция объясняет обычно наблюдающуюся небольшую рудоносность малоглубинных частей интрузий и связь богатого оруденения с глубинными их частями. Л.В. Таусон сформулировал это следующим образом «...как показывает геологическая практика, максимальный промышленный эффект связан с рудными телами, возникшими за счет гидротермальных растворов, генерируемых в нижних камерах низкотемпературных расплавов» [6, с. 248]. Такое явление различные исследователи объясняли отжиманием растворов вниз по мере кристаллизации верхних частей интрузий или притоком в нижние части последних богатых рудными компонентами флюидов из мантии. Но в этих предположениях нет убедительного объяснения высокой рудоносности глубинных гидротерм. Кроме того, отжимание легкого флюида в магмах вниз и зарождение гидротерм в сухой высокотемпературной мантии с физико-химической точки зрения нереальны [8]. Представленная диаграмма свидетельствует о том, что высокая рудоносность глубинных гидротерм вполне закономерна. Она связана с появлением и отделением флюида в остывающих при высоком давлении кислых магмах на поздней стадии кристаллизации, когда в последних остаточных расплавах достигаются высокие концентрации рудных и выносящих их летучих компонентов.

Положение максимумов для различных компонентов на диаграмме различно. Из него следует, что с увеличением глубины отделения гидротерм должна закономерно изменяться рудная специализация последних за счет возрастания роли компонентов с низким исходным содержанием в магме, малыми коэффициентами накопления в остаточных расплавах и высокими концентрациями насыщения. Будет расти средняя удаленность сформированного ими оруденения от вскрытых частей гранитных интрузий, что вместе с изменяющейся их рудной специализацией приведет к формированию рудной зо-

нальности рудно-магматических узлов. Должны уменьшаться его возраст, вследствие повышенной длительности кристаллизации магм в глубинных условиях, и понижаться температура его образования, вследствие остывания гидротерм при длительном подъеме. Эти явления должны иметь среднестатистический характер и не исключают реже встречающиеся противоположные случаи, поскольку, кроме глубинности отделения гидротерм, на них влияют и другие факторы — структура и проницаемость вмещающих пород, особенности залегания и морфологии интрузий и др.

Названные явления, действительно, характерны для рудно-магматических узлов и давно служат предметом дискуссии. Так, в первой половине прошлого столетия была широко распространена гипотеза В.Х.Эммонса о связи рудной зональности с изменением состава остывающих растворов по мере удаления их от интрузии. Но постепенно накопились противоречащие этой гипотезе данные о существенно более молодом возрасте оруденения внешних зон по сравнению с внутренними. Поэтому С.С.Смирнов [5] выдвинул пульсационную гипотезу происхождения рудной зональности и стадийности рудообразования, связывая их с периодическим отделением из магм гидротерм разного состава при приоткрытии рудопроводящих трещин в процессе тектонических движений. Однако причина изменения состава гидротерм была недостаточно ясной. Полученные результаты свидетельствуют, что изменения состава гидротерм являются следствием существования различных по P и T максимумов концентраций рудных компонентов во флюиде кристаллизующихся магм и последовательного достижения этих максимумов фронтом появления и отделения флюидной фазы в кристаллизующихся интрузиях.

При субизобарической кристаллизации магм состав отделяющихся гидротерм должен последовательно проходить через максимумы концентраций Sn (и W), Cu, Zn, Pb, S, Au, Sb, As (см. рис. 1). Очевидно, что просачивание гидротерм по одним и тем же каналам приведет к стадийному отложению этих компонентов. Рассчитанная последовательность рудоотложения соответствует природной и поэтому хорошо объясняет ее происхождение. При разных изобарических сечениях диаграммы последовательность достижения максимумов концентраций во флюиде при кристаллизации магм остается примерно одинаковой, хотя максимумы различаются. Это объясняет отмеченный Б.Л.Флеровым [7], казалось бы, парадоксальный факт близости стадий рудообразования на связанных с гранитоидами разнометалльных ме-

сторождениях — вольфрамовых, оловянных, полиметаллических, золоторудных.

Отделение разнометалльных гидротерм от фракционирующей гранитной магмы с образованием хорошо выраженной рудной зональности возможно в основном в случае полого наклонного залегания интрузий и встречается редко. Чаще всего главная масса гидротерм должна отделяться на уровне существующих в кровле интрузий куполов и выступов, куда всплывал остаточный расплав и где происходило отделение от него флюида. Состав и рудная специализация формировавшихся гидротерм определялись значениями изоконцентрации рудных компонентов во флюиде на диаграмме на уровне глубинности куполов, а их объем и количество вынесенных компонентов — объемом магм, расположенных ниже купола. Видимо, это — главная причина неполноты проявления зональности гидротермального оруденения вокруг большинства интрузий и широкого развития лишь отдельных типов оруденения. Вследствие всплывания остаточного расплава во фракционирующих магмах в крупных субвертикальных интрузиях с четко выраженной куполообразной формой кровли летучие всего огромного объема магмы должны отделяться на уровне этой кровли с формированием уникально крупных месторождений. Для таких интрузий не характерны мелкие месторождения и рудопроявления. На локализацию оруденения большое влияние оказывают структура вмещающих пород и положение геохимических и структурных барьеров.

Температурно-вязкостные свойства магм существенно влияют на процессы формирования в них гидротерм [8]. В наиболее низкотемпературных и глубинных магмах реоморфических гнейсо- и мигмагит-гранитов, вследствие их высокой вязкости, почти не происходили процессы эманационной и кристаллизационной дифференциации, что объясняет безрудность огромных полей ультраметаморфических гранитоидов. В несколько менее вязких низкотемпературных гранитных магмах могли протекать процессы эманационной дифференциации, но не происходило магматическое фракционирование. В них по мере кристаллизации во флюиде увеличивались концентрации преимущественно компонентов, не входивших в твердые фазы, главным образом хлора. Из-за высокой экстрагирующей способности высокохлорные гидротермы могли выносить значительные количества хлорофильных компонентов, в первую очередь золота, из магм (максимум Au_m на рис. 1) и из вмещающих пород (Au_B).

Возрастание первичной температуры, глубины зарождения и средней основности магм с уменьше-

нием геотермических градиентов при переходе от подвижных складчатых зон с тонкой литосферой к устойчивым жестким областям приводили в соответствии с рассмотренными выше закономерностями к увеличению разнообразия гидротермального оруденения, уменьшению в среднем глубинности его зарождения, возрастанию содержания в нем серы и халькофильных компонентов. Обычно выдержанность геотермических градиентов и магнезирующей тектонических деформаций в земной коре на больших площадях служат причиной огромной протяженности многих однотипных по составу и фашиальности магматических поясов и связанных с ними металлогенических провинций. Большие размеры последних, следовательно, не указывают на мантийную природу оруденения, как иногда предполагается.

Природа особенностей распространения гидротермального оруденения в Яно-Колымской складчатой области. Полученные результаты объясняют главные особенности распространения различного оруденения в Яно-Колымской складчатой области. Здесь при столкновении с конца юры до начала неокома Колымо-Омолонского супертеррейна с Верхоянской пассивной окраиной кристаллическая кислая кора последней скупивалась и между ней и погружавшейся мантийной литосферой возникал тектонический срыв (рис. 4, а, б). Фрикционно подплавленные вдоль него породы коры выжимались вверх и преобразовывались в кислые магмы под влиянием декомпрессии и выделения тепла трения вязкого течения при подъеме. Максимальное смещение мантии по отношению к коре и фрикционное подплавление пород коры происходили в передовой зоне столкновения, что обусловило формирование здесь Главного батолитового пояса (см. рис. 4, в). Большая мощность зоны фрикционного подплавления (судя по расчетам, 8–10 км [9]) определила относительно небольшую глубину положения ее кровли (25–28 км) и зарождения формировавшихся здесь магм. Вследствие этого возникавшие магмы были чаще всего относительно низкотемпературными, вязкими, декомпрессионно затвердевали при подъеме на глубине 2–4 км и не изливались на земную поверхность, что является причиной незначительного распространения вулканитов кислого состава в этом поясе.

Высокая вязкость препятствовала широкому проявлению в магмах процессов внутрикамерного фракционирования. Этим обусловлено относительно небольшое распространение в Главном батолитовом поясе редкометальных лейкогранитов и связанного с ними кварц-касситеритового и кварц-

вольфрамитового оруденения. Такие лейкограниты и оруденение появляются по краям пояса, где увеличивались глубина и температура зарождения магм (см. рис. 4, в), уменьшалась их вязкость и возрастала способность к внутрикамерному фракционированию. Эти магмы имели повышенную способность к подъему и формировали на периферии батолитового пояса субвулканы.

Повышенное давление препятствовало выкипанию хлора и углекислоты при кристаллизации гранитоидных магм и способствовало высокой концентрации их в остаточном расплаве и флюиде (см. рис. 1). В результате при отделении флюида происходили интенсивное растворение и вынос из магм и глубинных осадочных пород золота, имеющего высокое химическое сродство с этими летучими (см. рис. 3), и формировалось золотое оруденение. Особенно широко эти процессы протекали вдоль удаленной от передовой зоны столкновения периферии Главного батолитового пояса (см. рис. 4, в). Здесь вследствие уменьшения силы выжимания с удалением от этой зоны магмы поднимались меньше и сформировали цепь нескрытых крупных интрузий на окраине пояса. Их присутствие доказывается распространением полей пониженной силы тяжести и повышенных метаморфизма и гидротермальной переработки осадочных пород. В результате подъема высокозолотоносных гидротерм из нескрытых интрузий сформировался протяженный Главный золотоносный пояс Северо-Востока России, содержащий многочисленные коренные и россыпные месторождения этого металла. Для руд пояса характерно низкое содержание сульфидов, что связано с небольшой концентрацией серы в родоначальных лейкократовых гранитных магмах. Формирование золотоносных гидротерм в наиболее глубинных интрузиях объясняет удаленность большинства золото-кварцевых месторождений от вскрытых на современном срезе плутонов.

Способность магм к подъему вследствие существования процессов их декомпрессионного затвердевания примерно прямо пропорциональна температуре [8]. Поэтому низкотемпературные магмы, зарождавшиеся на ранних стадиях фрикционного плавления, затвердевали на большей глубине, чем поздние. Возникшие в таких гранитоидах гидротермы формировали наиболее раннее синколлизонное золотое оруденение, которое метаморфизовалось интрузиями более поздних гранитоидов. Для гидротерм метаморфизованных месторождений обычно предполагается метаморфогенный генезис. Однако такое предположение не согласуется со многими данными. При метамор-

физме осадочных пород с обычно незначительным содержанием золота и выносящих его летучих компонентов отсутствует эффективный механизм концентрирования последних, подобный магматической кристаллизации и фракционированию. Месторождения, рассматриваемые в качестве метаморфогенных, имеют практически те же элементы-примеси и стадии минералообразования, что и связанные с гранитоидами. Особенно противоречит метаморфогенному генезису оруденения наличие признаков понижения температуры при формировании кварцевых жил. Например, в считающихся метаморфогенными и хрусталеносных жилах Верхоянья максимальная температура декрепитации кварца от ранних жил к поздним понижается от 510 до 370° С [2]. Такая регрессивная последовательность невозможна при метаморфизме, так как при снижении температуры в метаморфических толщах начинаются реакции гидратации и гидротермы не могут формироваться.

Родоначальные гидротермы, расположенные в золотоносном поясе уникальных Сарылахского и Сетгачанского и ряда более мелких сурьмяных месторождений, являются более глубинными, чем таковые золоторудных месторождений (см. рис. 1). Длительность кристаллизации гранитоидов в глу-

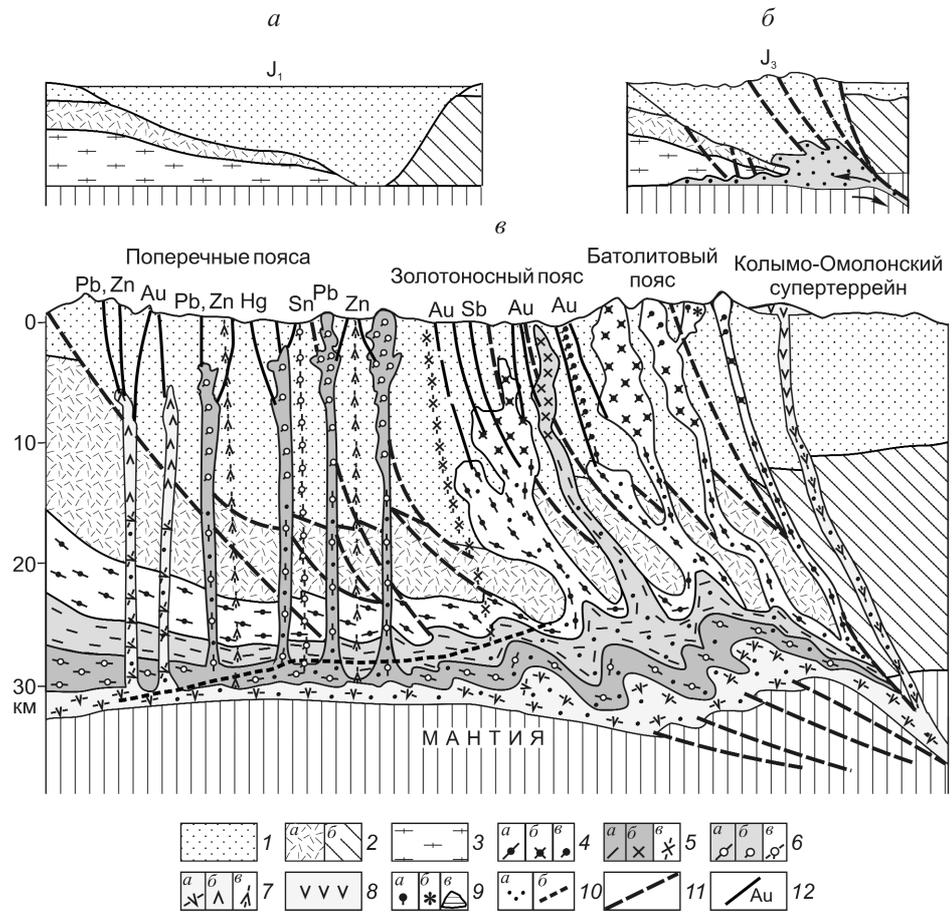


Рис. 4. Модель образования гранитоидов и связанного с ними оруденения в центральном секторе Верхояно-Колымской складчатой области:

этапы: *a* — предколлизийный, *б* — синколлизийный, *в* — постколлизийный [10]; 1 — осадочные породы; 2 — гранитно-метаморфический фундамент Верхоянской окраины (*a*) и Колымо-Омолонского супертеррейна (*б*); 3 — ортогнейсы гранитоидного состава; 4 — высокоглиноземистые гранитогнейсы (*a*), гранитоидные интрузии (*б*), дайки (*в*); 5 — умеренно-глиноземистые гранитогнейсы (*a*), гранитоидные интрузии (*б*), дайки (*в*); 6 — малоглиноземистые гранитогнейсы (*a*), гранитоидные интрузии (*б*), дайки (*в*); 7 — диоритогнейсы (*a*), диоритовые интрузии (*б*), дайки (*в*); 8 — андезиты; 9 — остаточно-магматические редкометалльные (*a*), литий-фтористые (*б*) граниты, субвулканы (*в*); 10 — фрикционно подплавленные породы (*a*), верхняя граница зоны фрикционного подплавления (*б*); 11 — разломы; 12 — рудные тела

бинных условиях значительно (на десятки миллионов лет) больше, чем в малоглубинных, вследствие более высокой температуры глубинных вмещающих пород. Это может быть причиной более молодого возраста сурьмяных месторождений по сравнению с золотыми.

В зоне развития поперечных поясов гранитных интрузий (см. рис. 4, *в*) глубина зарождения магм была повышенной в результате уменьшения мощности подплавленного слоя, что приводило к погружению его кровли. Это предопределило в среднем несколько повышенные основность, ще-

лчность, температуру формировавшихся здесь магм, пониженную их вязкость и подъем на более высокие уровни земной коры, чем в Главном батолитом поясе. Пониженная вязкость магм способствовала их фракционированию в малоглубинных условиях с накоплением олова в остаточных расплавах и флюидах и с образованием характерных для этих поясов оловянных месторождений. Повышенная основность магм является причиной значительного содержания в них серы и богатства оловянных месторождений сульфидами. Уменьшение силы тектонического выдавливания магм с удалением от передовой зоны коллизии обусловило увеличение глубины размещения интрузий в земной коре с приближением к Сибирской платформе. Это стало причиной увеличения роли полиметаллических, золотых и ртутных месторождений на окончаниях поперечных поясов интрузий (см. рис. 4, в).

Таким образом, анализ поведения рудных и выносящих их летучих компонентов в кислых магмах, особенностей тектонических движений и связанных с ними процессов корового магмообразования на примере Яно-Колымской коллизионной области позволяет понять природу главных закономерностей распространения магматических пород кислого состава и связанных с ними месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин В.С., Коваленко В.И., Рябчиков И.Д. Коэффициенты распределения редких элементов в магматических породах. – М.: Наука. 1984.
2. Аглонов В.С. Особенности образования кварцевых хрусталеносных жил северной части Верхоянской
3. Некрасов И.Я., Диман Е.Н. Высокотемпературная растворимость золота в растворах HCl и KCl и генезис золоторудных месторождений // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1989. № 2. С. 24–41.
4. Рябчиков И.Д., Орлова Г.П., Каленчук Г.Е. Растворимость меди и серебра в концентрированных щелочно-хлоридных водных растворах, равновесных с гранитной магмой // Геология рудных месторождений. 1984. № 3. С. 96–99.
5. Смирнов С.С. Избранные труды. – М.: Наука, 1965.
6. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М.: Наука, 1977.
7. Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. – Новосибирск: Наука, 1976.
8. Шкодзинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. – М.: Наука, 1985.
9. Шкодзинский В.С. Эволюция кислых магм и генезис рудоносных гидротерм // Вопросы магматизма и оруденения Якутии. Якутск, 1992. С. 5–21.
10. Шкодзинский В.С. Геодинамика и металлогения // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М., 2001. С. 467–498.
11. Hemley J.J., Cygar G.L., d'Argelo W.M. Effect pressure on ore mineral solubilities under hydrothermal conditions // Geol. 1986. Vol. 14. P. 377–379.
12. Urabe T. Aluminous granite as a source of hydrothermal ore deposits: an experimental study // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 148–157.
13. Webster J.D., Holloway J.R. Experimental constraints on the partitioning of Cl between topaz rhyolite melt and H₂O and H₂O+CO₂ fluids: New implications for granitic differentiation and ore deposition // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1988. Vol. 52. P. 2091–2105.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.491+553.41

© А.В.Сначёв, Д.Е.Савельев, В.И.Сначёв, 2010

ПАЛЛАДИЙ-ЗОЛОТО-РЕДКОМЕТАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦАХ ЗИГАЗИНО-КОМАРОВСКОЙ СВИТЫ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

А.В.Сначёв, Д.Е.Савельев, В.И.Сначёв (Институт геологии УНЦ РАН)

Приведены результаты изучения углеродистых сланцев зигазино-комаровской свиты Маярдакского и Ямантауского антиклинориев на благородные и редкие металлы. Показано высокое содержание в них Au, Pd и W. Бороздовое опробование наиболее перспективных участков позволило выявить в углеродистых сланцах локальные стратиграфические уровни с промышленным содержанием указанных металлов.

Ключевые слова: углеродистые сланцы, благородные металлы, палладий-золото-редкометальная геохимическая ассоциация, зигазино-комаровская свита.

Сначёв Александр Владимирович, Савельев Дмитрий Евгеньевич, Сначёв Владимир Иванович, SAVant@inbox.ru

PALLADIUM-GOLD-RARE-METALLIC GEOCHEMICAL ASSOCIATION IN CARBONACEOUS SLATES OF ZIGAZINO-KOMAROV SUITE, SOUTHERN URALS MOUNTAINS

A.V.Snachev, D.E.Saveliev, V.I.Snachev

Results of studying of palladium-gold-rare-metallic geochemical association in zigazino-komarov carbonaceous slates of Mayardak and Yamantau anticlinoria are considered. The carbonaceous slates are characterized by Au, Pd and W metallogenetic specialization. Local stratigraphic levels of Au, Pd and W economic mineralization were discovered in carbonaceous slates.

Key words: carbonaceous slates, precious metals, palladium-gold-rare-metallic geochemical association, zigazino-komarov suite.

Углеродистые отложения, как известно, представляют собой весьма благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. При определенных условиях, особенно в областях проявления магматизма, зонального метаморфизма и тектонической активности, углеродистые породы могут концентрировать в себе крупные залежи Au, Mo, W, V, Mn, Pt и других элементов. Достаточно назвать такие гиганты, как Брокен-Хилл, Мурунтау за рубежом и Сухой Лог в России. В последние 20 лет среди золоторудных месторождений отчетливо выявился новый тип прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации с дисперсным золотом и платиновыми металлами. Такие залежи располагаются в рифтовых структурах, в районах со слабо проявленным магматизмом и локализируются в древних породах, богатых органическим углеродом. Черносланцевые толщи образуют протяженные региональные пояса, однако месторождения внутри них приурочены к локальным полям, где проявлены динамотермальные процессы и определенного вида метасоматические изменения.

Анализ имеющихся материалов по Южному Уралу показывает, что наиболее общими чертами

минерализованных черносланцевых толщ являются следующие:

приуроченность благороднометалльного оруденения к кварцевым и кварц-сульфидным жилам, образующим линейные кварцево-жилые поля или штокверковые зоны, локализованные чаще всего в горизонтах углеродистых пород, метаморфизованных в зеленосланцевой фации;

контроль оруденения зонами смятия и дробления, тяготеющими к крупным региональным разломам;

существенно восстановительный характер развития оруденения с пирит-пирротиновой минеральной ассоциацией и широким участием магнетитно-железистых карбонатов (доломита, анкерита, сидерита).

В 2005–2009 гг. в пределах северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев (рис. 1, 2) нами изучены углеродистые отложения юшинской, машакской, зигальгинской и зигазино-комаровской свит на благородные металлы, вольфрам, молибден, ванадий.

Углеродистые сланцы наиболее широко распространены в составе зигазино-комаровской свиты. Пройденные маршруты на площадях развития

Индекс	Литология		Мощность в м	Свита	Характеристика подразделений		
	I	II			I	II	
R ₃ zl			900-2250	850-1900	Зильмердакская	Сланцы кварц-серицит-хлоритовые, углито-кварцевые, алевролиты филлитизированные, прослои кварцитовидных песчаников и мраморизованных известняков. В низах - аркозовые кварцитопесчаники и кварциты слюдястые, прослои мусковит-кварцевых сланцев, метагравелитов и метаконгломератов	
R ₃ av			990-2480	300-700	Авзянская	Алевролиты филлитизированные, микросланцы, сланцы серицит-хлорит-кварцевые, углито-хлоритовые, прослои песчаников филлитизированных. Доломиты и доломитизированные известняки с прослоями кварцитопесчаников	Сланцы двуслюдяно-полевошпат-кварцевые, мусковит-кварцевые, иногда графитистые, доломиты, мраморы, прослои кварцитов
R ₂ zk			480-1750	480-600	Зигазино-юмаровская	Алевролиты и песчаники филлитизированные, серицит-хлорит-кварцевые сланцы, иногда углистые, сланцы графит-кварцевые, хлоритоидные, прослои кварцитопесчаников и графитистых кварцитов	Сланцы двуслюдяно-полевошпат-кварцевые, мусковит-полевошпат-кварцевые, часто карбонатные и графитистые, хлоритоид-мусковит-кварцевые. Прослои кварцитов, доломитов, мраморов
R ₂ zg			250-1200	250-350	Зигальгинская	Кварцитопесчаники, кварциты, в верхах - прослои конгломератов филлитизированных. Филлиты углистые, графит-хлоритоидные	Кварциты, часто мусковитсодержащие. Сланцы графит-мусковит-кварцевые, графитсодержащие
R ₂ ms	R ₂ bl		1830-4280	150-300	Белетарская	МетатUFFы основного и кислого состава. Сланцы углито-хлорит-кварцевые, песчаники кварцевые и конгломераты филлитизированные. Песчаники кварцевые и полимиктовые	Сланцы хлоритоидно-кварцевые, иногда углистые, амфиболиты апобазальтовые, прослои графитистых кварцитов
	R ₂ as		100-600	100-600	Аюсанская	Машанская	Сланцы мусковит-хлорит-кварцевые, кварциты слюдястые, иногда хлоритоидсодержащие серицит-хлорит-кварцевые сланцы, метаконгломераты
R ₁ js			1150-1350	500-950	Юшинская	Филлитизированные микросланцы и алевролиты с примесью углеродистого вещества	
R ₁ sr	R ₁ kz		800-1200	500-950	Суранская	Доломиты, доломитизированные известняки. Филлитизированные микросланцы, часто алевролиты с примесью углеродистого вещества	Сланцы мусковит-кварцевые, плагиоклазо-мусковит-кварцевые часто графитсодержащие; графитистые кварциты. Мраморы кальцитовые иногда доломитовые
					Кызылгашская		

Рис. 1. Стратиграфические колонки для рифейских отложений Ямантауского (I) и Маярдакского антиклинориев (II)

данных толщ показали, что они сложены в переменных соотношениях хлорит-серицит-кварцевыми, слюдясто-кварцевыми, слюдясто-полевошпат-кварцевыми сланцами, кварцевыми алевролитами и песчаниками, в той или иной степени обогащенными углеродистым веществом. Почти повсеместно они граничат с кварцитами зигальгинской сви-

ты, которые здесь чаще всего представлены сланцеватыми железненными разновидностями красноватых тонов.

В сланцах часто наблюдается сульфидизация — от единичных вкрапленных зерен пирита до сульфидных прожилков мощностью до 1 см при содержании сульфидов в породах до 25–30%. В обнажениях и элювиально-делювиальных развалах чаще всего встречается в той или иной степени выветрелые породы, в которых на месте первичных сульфидов остаются пустоты кубического габитуса или зоны кавернозной текстуры, интенсивно железненные. При дальнейшем выветривании на месте таких пород образуются бурые железняки.

Заметим, что углеродистые отложения не устойчивы в зоне окисления и, как правило, плохо обнажены в отличие от граничащих с ними кварцитов, обычно бронирующих рельеф. Так, хребет горы Мягкая практически полностью сложен углеродистыми сланцами. Коренные обнажения здесь практически отсутствуют, их можно видеть лишь в нескольких местах на водоразделе. В черных сланцах почти повсеместно наблюдается вкрапленность пирита.

В то же время, исключением из правил является хребет Золотые Шишки, между поселками Нура и Отнурок, где черные сланцы образуют коренные обнажения. Часто в них наблюдаются прожилки свежего пирита (до 15–20% объема породы), зоны интенсивного ожелезнения, придающие обнажениям вишневую окраску. На южном склоне хребта в элювиально-делювиальных развалах нами встречены сильно железненные обломки жильного кварца и бурых железняков по сульфидизированным и окварцованным сланцам.

Все это, на наш взгляд, свидетельствует о высоких перспективах данного стратиграфического уровня на благородные металлы. По крайней мере, он, несомненно, заслуживает внимания как основной объект для постановки поисковых работ на Au и элементы платиновой группы (ЭПГ).

Определения Au, Pt, Pd, Ro и Ig выполнены в лаборатории анализа минерального вещества

ИГЕМ РАН (зав. лабораторией В.В.Дистлер) химико-спектральным методом с предварительным концентрированием на органическом полимерном сорбенте «Полиоргс-4». Нижние пределы количественных определений всех элементов — 0,0005 г/т. Результаты анализа 21 пробы представлены в табл. 1. Кроме того, в аналитическом сертификационном испытательном центре ВИМС (директор В.С.Кордюков) в 13 пробах фотометрическим методом определены W, Mo, V. Нижние пределы чувствительности метода для W и Mo — 0,002, для V — 0,0005%.

Золото относится к числу наиболее изученных элементов-примесей черных сланцев. Это объясняется экономическим значением золоторудных месторождений, пространственно связанных с ними. Кларковые содержания Au в углеродистых отложениях мира, оцененные разными способами, составляют 0,008–0,01 г/т [9], аномальными можно считать содержания 20–35 мг/т, интенсивной аномалией — 35–50 мг/т, рудогенной — >50 мг/т. Основным минералом-концентратом золота в породах черносланцевых толщ является пирит. Количество Au в углеродистом веществе разной степени метаморфизма обычно составляет 16–60% от суммарного его содержания в углеродистых породах [9].

На первом этапе работ (2005–2007 гг.) в пределах рассматриваемой территории нами проведено выборочное штучное опробование сульфидизированных и окварцованных углеродистых сланцев (см. табл. 1). Небольшое количество проанализированных проб не позволило выявить рудные зоны с промышленными содержаниями Au, однако полученные данные позволили говорить о высокой перспективности углеродистых отложений зигазино-комаровской свиты. Так, среднее содержание Au в них составляет 0,290 г/т (21 проба), что в 4–6 раз выше, чем для рудогенной аномалии. Максимальные же значения концентрации Au в штучных пробах углеродистых сланцев зигазино-комаровской свиты достигали 2,05 г/т в небольшом карьере у дороги между г. Белорецк и пос. Отнурок-1 и 1,42 г/т на горе Мягкая.

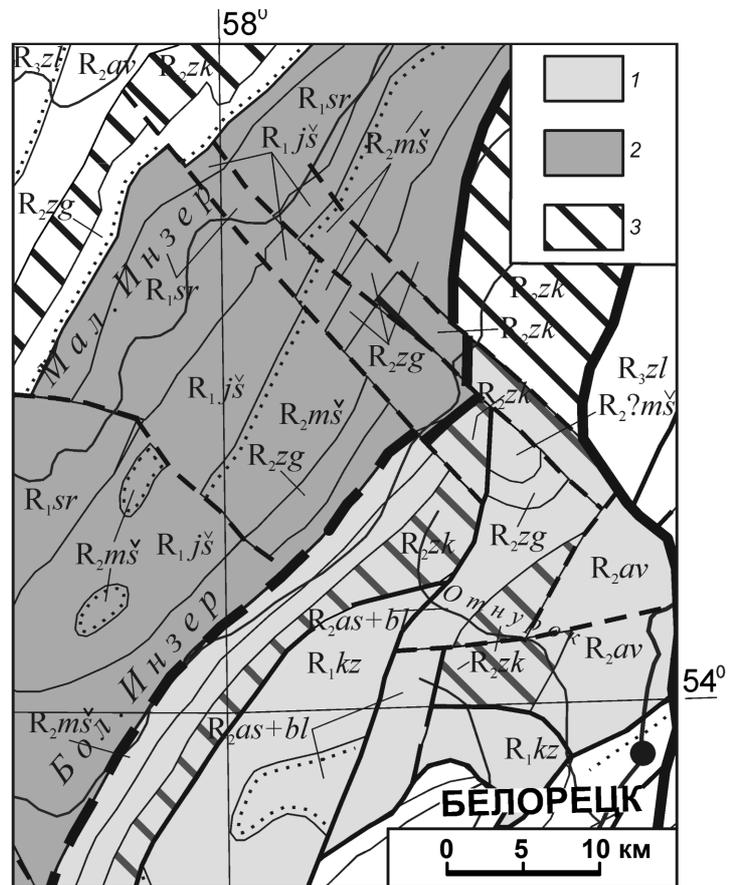


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района работ [2], с упрощениями авторов:

1 — Маярдакский антиклинорий; 2 — Ямантауский антиклинорий; 3 — область распространения зигазино-комаровской свиты; свиты: R_{1sr} — суранская (доломиты и известняки, сланцы углеродисто-глинистые, прослои алевролитов и песчаников кварцевых и полевошпат-кварцевых), R_{1js} — юшинская (песчаники и алевролиты кварцевые и полевошпат-кварцевые, сланцы глинистые и углеродисто-глинистые, прослои доломитов, известняков и сидеритов), R_{1kz} — кызылташская (сланцы двуслюдяно-плагиоклаз-кварцевые и мусковит-кварцевые, часто графитистые, мраморизованные известняки, доломиты и магнезиты), R_{2ms} — машакская (метабазальты, риолиты, их туфы и туфобрекчии, полимиктовые песчаники и алевролиты, конгломераты, сланцы углеродисто-глинистые); R_{2as+bl} — аюсапканская (кварциты, сланцы мусковит-кварцевые, иногда графитистые, прослои конгломератов), белетарская (метавулканиды основного состава, сланцы мусковит-графит-кварцевые и мусковит-хлорит-кварцевые, прослои кварцитов), R_{2zg} — зигальгинская (песчаники кварцевые, реже алевролиты и сланцы глинистые, часто углеродсодержащие), R_{2zk} — зигазино-комаровская (кварцевые и полевошпат-кварцевые алевролиты и песчаники, сланцы глинистые, большей частью углеродсодержащие с микрофоссилиями, единичные прослои доломитов), R_{2av} — авзянская (доломиты и известняки со строматолитами, кварцевые алевролиты и песчаники, сланцы глинистые и углеродисто-глинистые), R_{3zl} — зильмердакская (песчаники и алевролиты полевошпат-кварцевые, аркозовые, субаркозовые, полимиктовые и кварцевые, сланцы глинистые с микрофоссилиями, прослои конгломератов, гравелитов и доломитов со строматолитами)

1. Содержания благородных и редкометалльных элементов в штучных пробах из углеродистых отложений зигазино-комаровской свиты

№№ п/п	Номер образца	Au	Pt	Pd	Rh	Ir	W	Mo	V	Место взятия
		г/т						%		
1	7247	0,760	<0,0005	0,060	0,0068	0,008	0,0420	<0,002	0,0035	пос. Отнурок
2	7134-1	0,280	<0,0005	0,055	0,0077	0,050	0,0077	<0,002	0,0180	То же
3	7126-1	0,019	<0,0005	0,083	0,0076	0,028	0,0077	<0,002	0,0100	«
4	7237/1	0,230	0,023	0,160	0,0066	0,008	0,0110	<0,002	0,0045	«
5	7127	0,089	0,033	0,098	0,0050	<0,0005	0,0063	0,0056	0,0055	«
6	7136	0,016	0,002	0,058	0,0044	0,017	0,0098	<0,002	0,0088	«
7	7229	0,019	<0,0005	0,055	0,0076	0,014	0,0049	<0,002	0,0031	«
8	7231	0,005	<0,0005	0,009	0,0058	<0,0005	0,0063	<0,002	0,0007	«
9	7238	0,026	<0,0005	0,010	0,0066	<0,0005	0,0170	0,0030	<0,0005	«
10	7130	0,016	<0,0005	0,033	0,0036	<0,0005	0,0150	<0,002	0,0042	«
11	7244	<0,0005	0,004	0,210	0,0062	<0,0005	0,0063	<0,002	0,0100	«
12	7233	<0,0005	<0,0005	0,110	0,0030	<0,0005	0,0049	<0,002	0,0050	«
13	7241	0,260	0,010	0,035	0,0030	<0,0005	0,0049	<0,002	0,0020	«
14	7094	1,420	0,041	0,019	<0,0005	0,010				гора Мягкая
15	7094-1	0,130	0,038	0,037	<0,0005	0,019				То же
16	7095	0,061	0,011	0,015	<0,0005	0,006				«
17	7123	0,075	0,009	0,054	<0,0005	0,011				пос. Отнурок
18	7131	0,470	0,025	0,010	<0,0005	<0,0005				То же
19	7136-1	0,070	0,038	0,111	<0,0005	0,012				«
20	7134-1	2,050	0,056	0,046	<0,0005	0,016				«
21	7014	0,076	0,009	0,014	<0,0005	0,0048				гора Широкая

Примечание. 1–21 — углеродистые сланцы; 1, 7, 8, 13, 21 — бурые железняки по углеродистым сланцам.

В ходе второго этапа работ (2008–2009 гг.) детальное внимание было уделено разрезу углеродистых сланцев в карьере у пос. Отнурок, где можно выделить несколько слоев (рис. 3).

Большие борозды длиной до 6 м отбирались для определения мощности рудоносного уровня. В пределах конкретной пачки углеродистых отложений длина борозды была сокращена до 0,5–1,5 м для локализации оруденения. Анализ на благородные металлы общей бороздовой пробы 7134/36 показал 0,44 г/т Au, а пробы k-126-5 (являющейся ее 0,5-метровым фрагментом) — 3,43 г/т, что позволяет предлагать нам этот участок для дальнейших исследований (табл. 2; см. рис. 2).

Отдельно целесообразно рассмотреть вопрос о перспективности бурых железняков на золото. В ходе работ на данной территории найдены и описаны проявления железных руд Теплое, Моховое, Катайка, Буренкинское и др. Все они приурочены к коре выветривания сульфидизированных углеродистых сланцев. По данным более ранних геолого-съёмочных работ в отдельных пробах рудопроявлений зафиксированы повышенные содержания Au и Ag.

Анализы на платиноиды в то время не проводились. По нашим данным (проанализировано семь проб), высоких концентраций золота в бурых же-

2. Содержания благородных элементов в бороздовых пробах из углеродистых отложений зигазино-комаровской свиты, г/т

№№ п/п	Номер борозды	Длина борозды, м	Au	Pd	Pt
1	7130/16	5,0	0,0055	0,055	
2	7130/26	6,0	0,0025	0,160	
3	7130/36	4,0	0,0120	0,081	
4	7134/16	5,0	0,0008	0,036	
5	7134/26	6,0	0,0230	0,074	
6	7134/36	6,0	0,4400	0,052	0,0059
7	7134/46	6,0	0,0290	0,022	
8	7134/56	6,0	0,0067		0,058
9	k-126-1	0,3	0,0260	0,130	<0,0005
10	k-126-2	1,0	0,0200	0,099	0,008
11	k-126-3	1,0	0,0016	0,073	0,005
12	k-126-4	0,5	0,0140	0,035	0,0075
13	k-126-5	0,5	3,4300	0,098	0,03
14	k-126-6	1,5	0,0140	0,0096	<0,0005
15	k-129-1	1,0	0,0320	0,0049	0,0075
16	k-135-1	1,0	0,0100	<0,0005	<0,0005
17	k-135-2	1,0	0,0150	0,0074	<0,0005
18	k-135-3	1,0	0,0084	0,060	<0,0005
19	k-136-1	1,0	0,0430	0,011	<0,0005

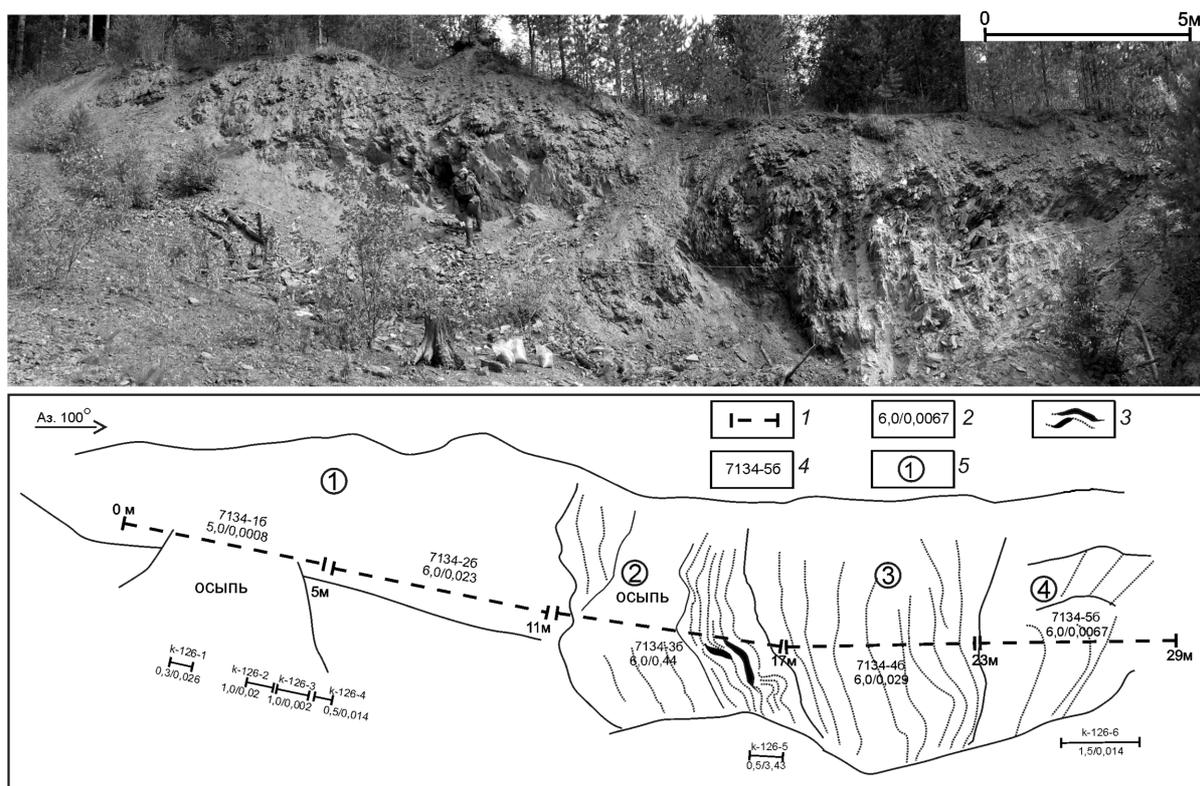


Рис. 3. Общий вид и схема опробования разреза углеродистых отложений зигаино-комаровской свиты в районе пос. Отурук:

1 — линия борозды; 2 — номера проб; 3 — длина борозды/Au, г/т; 4 — номера слоев; 5 — зона интенсивного окварцевания и ожелезнения

1-й — 0–11 м, слабо дислоцированные плитчатые кварц-полевошпат-мусковитовые гофрированные сланцы с мелкими будинами кварца по слоистости. Азимут падения отдельности $90^\circ < 60^\circ$;

2-й — 11–17 м, интенсивно дислоцированная толща углеродистых сланцев. В интервале 15,5–17 м отмечается зона смятия, в которой видны обособленные линзы или тонкое переслаивание окварцованных бурых железняков. Углеродистые сланцы интенсивно дислоцированы по сравнению с окружающими кварц-полевошпат-мусковитовыми сланцами;

3-й — 17–23 м, сланцы слюдястые, гофрированные, с окисленным пиритом размером 0,1–2 мм;

4-й — 23–29 м, переслаивание слюдястых гофрированных сланцев и слоев, сложенных рыхлыми охрами, возможно, образованными по зонам интенсивной сульфидизации.

лезняках не установлено. Среднее его содержание составляет 0,224 г/т, а максимальное — 0,76 г/т на проявлении Катайка (северное окончание одноименного поселка).

Платиноиды. В последние десятилетия открыты ранее неизвестные промышленные месторождения благородных металлов в черносланцевых комплексах, в которых совместно с основными промышленными компонентами (Au, Mo, V и т.д.) присутствуют металлы платиновой группы (Сухой Лог, Мурунтау, Кумтор, Наталкинское и др.). Месторождения такого масштаба на Урале пока не обнаружены, однако результаты изучения благородных металлов в углеродсодержащих черносланцевых толщах этого региона приводят к оптимистиче-

ским прогнозам [1, 6, 7]. Так, Ю.А.Волченко и В.А.Коротеев, обобщив данные по ~200 пробам черных сланцев трех возрастных уровней (R_3 , O_{1-2} , O_3-S_1) преимущественно Среднего и Северного Урала, пришли к выводу о том, что региональный фон в них по Pt и Pd составляет соответственно 13 и 17 мг/т, 17 и 15 мг/т, 14 и 25 мг/т. На отдельных участках с отчетливо проявленной сульфидизацией (участок Кокуйский) получено до 5 г/т Pd, 0,5 г/т Pt и 0,7 г/т Au. К.К.Золоев и др. [6] выделяют на Среднем Урале в качестве типовых Кедровскую и Долгомысовскую рудные зоны. Первая расположена на западном склоне Урала в пределах развития континентально-склоновых черносланцевых толщ, вторая — в Восточно-Уральской мегазоне и связана с

ордовикскими или нижнесилурийскими углеродистыми сланцами в вулканогенно-осадочной толще.

Максимальные содержания платиноидов в углеродистых отложениях Южного Урала установлены в метаморфически измененных черных сланцах (O-S) в бассейне рек Бетеря и Тупаргасс (зона Уралтау) [7], где получены содержания Pt до 0,23 г/т, Pd до 1,8 г/т. Средние содержания ЭПГ в углеродистых отложениях, рассчитанные по 22 рудным районам Сибири, Казахстана и Урала, составляют, мг/т [3]: Pt — 5, Pd — 1–3, Ir — 3, Rh — 4. Существуют два косвенных признака возможной платиноносности черных сланцев — аномалии Ni и Mo [10].

В сульфидизированных углеродсодержащих породах северной половины Маярдакского и Ямантауского антиклинориев, судя по содержанию Mo (<0,002%), не должно быть высоких концентраций платиноидов. Однако, как следует из табл. 1, они весьма перспективны на Pd, среднее содержание которого 0,061 г/т, максимальное — 0,21 г/т. Иридий и родий находятся в пределах фона или в пределах обнаружения. Содержания Pt в сланцах в среднем 0,014 г/т, максимальное — 0,056 г/т.

Вольфрам, молибден, ванадий. Содержания Mo стабильно укладываются в кларковый интервал для углеродистых сланцев, составляющий 14–20 г/т [10]. Ванадий во всех пробах также имеет околокларковое содержание (180–200 г/т), достигая в лучшем случае двукратной его величины.

Известно, что кларк вольфрама в черных сланцах находится в интервале 3–8 г/т, аномальными можно считать содержания более 15 г/т [10]. Среднее содержание W в углеродистых образованиях зигаино-комаровской свиты 111 г/т. Примечательно, что из 13 проанализированных проб в четырех получены содержания W >0,01%, максимальное же его значение составило 0,042%, т.е. в 50–140 раз выше кларкового.

В целом в изучаемых углеродистых образованиях намечается палладий-золото-редкометалльная специализация с высокими концентрациями благородных металлов и вольфрама. Подобное пространственное совмещение благородной и редкометалльной минерализации не является специфической особенностью только рассматриваемой территории. Аналогичная ситуация отмечена на ряде редкометалльных проявлений Оемкинского рудного узла (Сихотэ-Алинь) [5], на Полярном [8] и Южном

в пределах Новоусмановской площади (зона Уралтау) [4] Урале.

Таким образом, полученный материал показывает, что углеродистые отложения северной части Маярдакского и Ямантауского антиклинориев обладают достаточно высокими перспективами на поиски редкой и благороднометалльной минерализации. Здесь необходимо продолжить поисковые и оценочные работы по прослеживанию горизонта углеродистых отложений с промышленным содержанием золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Коротеев В.А. Платинометалльное оруденение палеоостроводужных комплексов Урала: платиноносные и палладиеносные пояса // Металлогения и геодинамика. Екатеринбург, 2000. С. 94–98.
2. Геологическая карта Российской Федерации и сопредельной территории республики Казахстан. М-б 1:1000 000 (нов. сер.). Лист -40 (41) — Уфа / Отв. ред. и один из авторов В.И.Козлов. — СПб: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2002.
3. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций // Геохимия. 1985. № 12. С. 1747–1757.
4. Осадконакопление, магматизм и рудоносность северной части Уралтау / М.В.Рыкус, В.И.Сначёв, Р.А.Насибуллин и др. — Уфа: Изд-во БГУ, 2002.
5. Палладий-золото-редкоземельная минерализация Оемкинского рудного узла (Сихотэ-Алинь) / А.П.Молчанов, В.Г.Моисеенко, В.Г.Хомич и др. // ДАН. 2000. Т. 375. № 4. С. 518–520.
6. Платинометалльная минерализация в геологических комплексах Урала / К.К.Золоев, Ю.А.Волонченко, В.А.Коротеев и др. — Екатеринбург: Уральская геолого-съёмочная экспедиция, 2001.
7. Рыкус М.В., Сначёв В.И., Сначёв А.В. Золото в дислоцированных углеродистых толщах палеоконтинентального сектора Южного Урала // Геологическая служба и горное дело Башкортостана на рубеже веков: Мат-лы Респуб. науч.-практ. конф. Уфа, 2000. С. 179–191.
8. Тарбаев М.Б., Кузнецов С.К., Моралёв В.Г. Новый Au-Pd-й тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 1. С. 15–30.
9. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. — Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994.
10. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия и рудогенез Mo, W, Re в черных сланцах. — Сыктывкар: Геонаука, 1991.

УДК 549.283: 553.411.068.5 (571.53/.55)

© Н.Н.Позднякова, 2010

ТИПОМОРФИЗМ ЗОЛОТА РОССЫПЕЙ ШАХТАМИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Н.Н.Позднякова (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Для определения связи россыпей Шахтаминского района с коренными источниками использованы типоморфные признаки самородного золота. Установлено, что коренные источники приурочены к разным уровням медно-порфировой рудно-магматической системы. В разновозрастных россыпях выявлена обратная по отношению к рудной зональность распределения золота по его признакам.

Ключевые слова: золото, типоморфизм, химический состав, элементы-примеси, коренной источник.

Позднякова Наталья Николаевна, pnn1984@yandex.ru

TYPMORPHIC FEATURES OF NATIVE GOLD IN PLACERS OF SHAKHTAMA ORE-BEARING DISTRICT, EASTERN TRANS-BAIKAL REGION

N.N.Pozdnyakova

Data on complex studies of typomorphic features of native gold from placers of Shakhtama ore-bearing district were used to define relationship between placers and primary sources. It was established that lode sources are coincided with different levels of a porphyry copper ore-magmatic system. According to native gold features zonality in distribution of gold in hetero-age placers is inverse to that in primary sources.

Key words: native gold, typomorphic features, chemical composition, trace elements, primary source.

Нередко единственным источником информации о перспективности территории служит золото из рыхлых отложений и россыпей, поэтому результаты изучения типоморфизма самородного золота на микро- и наноуровне необходимо учитывать при проведении геологоразведочных работ [3].

Тонкие исследования самородного золота позволяют устанавливать комплекс его типоморфных признаков в золоторудных месторождениях, зонах их преобразования, связанных с ними россыпях и промежуточных источниках, что существенно повышает достоверность геологической интерпретации минералого-геохимических данных. К комплексу индикаторных признаков самородного золота относятся парагенетические ассоциации золота в рудах, гранулометрия выделений, признаки первичной морфологии, характер поверхности, включения в золоте жильных и рудных минералов, его химический состав (пробность и элементы-примеси), преобразования в россыпях форм выделений (уплотненность, окатанность, деформации) и поверхности (коррозия, пленки, наросты), внутреннее строение самородного золота.

В последние годы для изучения элементов-примесей в золоте широко применяется масс-спектрометрический анализ с индуктивно связанной плазмой ICP MS (на 70 элементов), позволяющий установить геохимические образы самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов.

Разработанная в ЦНИГРИ методика комплексного исследования типоморфных признаков самородного золота использована при изучении золота россыпей Шахтаминского района Забайкалья для выявления его связи с коренными источниками, определения их формационной принадлежности и положения. Изучено золото из верховьев рек Унда и Борзя по материалам, предоставленным ФГУП «Читагеолразведка».

Шахтаминский район расположен в пределах поднятия, сложенного в основном доюрскими гранитоидами и окаймляющими их широкой полосой ниже-среднеюрскими морскими терригенными отложениями. К ядру поднятия приурочены гипабиссальные и приповерхностные массивы средне-позднеюрских гранитоидных комплексов: акатуйского монзонит-сиенитового, шахтаминского монцодиорит-гранодиорит-гранитового и нерчинскозаводского гранит-порфир-лампрофирового.

Породы акатуйского комплекса слагают одноименный массив, представляющий собой лакколито-или гарполитообразное тело, а также мелкие штоки и дайки, породы шахтаминского комплекса — крупные Шахтаминский и Аленгуйский массивы. С шахтаминским комплексом ассоциируют крутопадающие дайки и штоки нерчинскозаводского комплекса, обычно группирующиеся в пояса. Преобладают породы кислого и среднего составов, породы основного состава более редки. С интрузиями нерчинскозаводского комплекса связано формиро-

вание зон березитизации, аргиллизации и пропи-литизации вмещающих пород с молибденовой, полиметаллической и золоторудной минерализацией.

Район характеризуется высокой плотностью размещения медно-молибденовых, полиметаллических и золоторудных месторождений и рудопроявлений, принадлежащих к позднемезозойской минарагенической эпохе. Месторождения и проявления концентрируются в нескольких рудных узлах — Аленгуйском и Шахтаминском медно-молибден-золоторудных, Бугдаинском свинец-золото-вольфрам-молибденовом и др., разделенных участками с рассеянной минерализацией.

Сложное блоковое строение и режим развития морфоструктур рассматриваемой территории определили различную степень экспонированности коренных источников и условия россыпеобразования в пределах морфоблоков. По режиму развития в неотектонический период, геоморфологическому строению, преобладающим на современном эрозионном срезе литолого-стратиграфическим и интрузивным комплексам выделяются следующие типы морфоструктур первого порядка: с нисходящим режимом развития (унаследованно опускавшиеся); стабильные, испытавшие слабые поднятия или опускания; с восходящим режимом развития (инверсионно и унаследованно поднимавшиеся). К морфоструктурам с нисходящим режимом развития относятся долины с признаками аккумулятивного строения (широкие, заболоченные, с повышенной мощностью отложений) с ниже-среднеюрскими терригенными отложениями в их основании. К морфоструктурам с восходящим режимом развития относятся долины с террасами и террасоувалами (р. Аленгуй, среднее течение руч. Кутоманда, руч. Большой Дзалай). К длительно унаследованно поднимавшимся морфоблокам приурочены верховья ручьев Кутоманда и Бугдая, к конечному этапу неотектонического развития — верховья россыпей Кадай-Дзалайской группы.

Большинство коренных и россыпных проявлений золота сосредоточены в морфоблоках, характеризующихся интенсивными и умеренно интенсивными воздыманиями и широким развитием гранитоидов шахтаминского комплекса, вмещающего золотосодержащие молибден-порфиновые месторождения Шахтама, Бугдая и другие рудопроявления.

Россыпи золота верховьев рек Унда и Борзя, расположенные в пределах Шахтаминского и Аленгуйского рудных узлов и вблизи них, образуют Шахтаминскую (ручьи Кутоманда, Бугдая), Аленгуйскую (р. Аленгуй) и Кадай-Дзалайскую (ручьи Большой и Малый Дзалай, Долгий, Немнагиня, Догиня, Кадай-Васильевский и Кадай-Ивановский)

группы, приуроченные к долинам разных порядков. Долины высоких порядков часто наследуют палеодолины плиоцен-эоплейстоценового этапа врезания с золотоносными отложениями, которые сохраняются в глубоких тальвегах под современным руслом или смещены под террасоувалы [4]. Эти отложения перекрыты осадками так называемой белесой толщи (кангильская свита). Врезание в ранне-среднеплейстоценовое время сопровождается образованием россыпей за счет перемиыва «белесой» толщи. Наиболее молодые россыпи в долинах низких порядков сформированы в процессе позднеплейстоценового врезания. Наложение разных этапов врезания приводит к формированию многоярусных разновозрастных золотоносных пластов в одной россыпи.

Проведенные нами исследования золота показали сходство его типоморфных признаков для большей части россыпей района. Золото в россыпях мелкое, преобладает класс $-1+0,25$ мм. Исключение составляют верхняя часть россыпи руч. Бугдая, где количество $Au > 1$ мм достигает 80%, россыпей руч. Немнагиня — 75%, руч. Догиня — 37%. Небольшое количество относительно крупного золота наблюдается в верхней части россыпи руч. Большой Дзалай. Размер наиболее крупных частиц обычно не превышает 2–3 мм, в россыпи руч. Бугдая — до 6 мм. В россыпях присутствуют две разновидности золота.

Первая разновидность золота ($Au-1$) преобладает в плиоцен-раннечетвертичных россыпях Шахтаминской группы и в позднечетвертичных — Кадай-Дзалайской и Аленгуйской групп. Представлено желтовато-зеленоватыми массивными частицами разнообразных, часто характерных удлиненных очертаний. Золото преимущественно правильных форм с различным соотношением кристаллов и кристаллических сростков. Среди кристаллов присутствуют хорошо ограненные изометричные и искаженные октаэдр, округленные, шаровидные и скелетные, удлиненные и таблитчатые разновидности (рис. 1, а, б). В большом количестве, особенно в россыпи р. Аленгуй, наблюдались кристаллы золота со ступенчатыми эпитаксическими скульптурами роста и индукционными пирамидами. Кристаллические сростки — каркасные, проволоко-, ленто- и цепочковидные. Встречаются вытянутые двух- и трехмерные одностовольные или веточковидные дендриты со сросшимися или развитыми ветвями, щепко- и веточковидные дендритоиды. Присутствуют гемиидиоморфные и трещинно-прожилковидные выделения. Для правильных форм характерна относительно ровная поверхность. В отличие от них гемиидиоморфные и особенно тре-

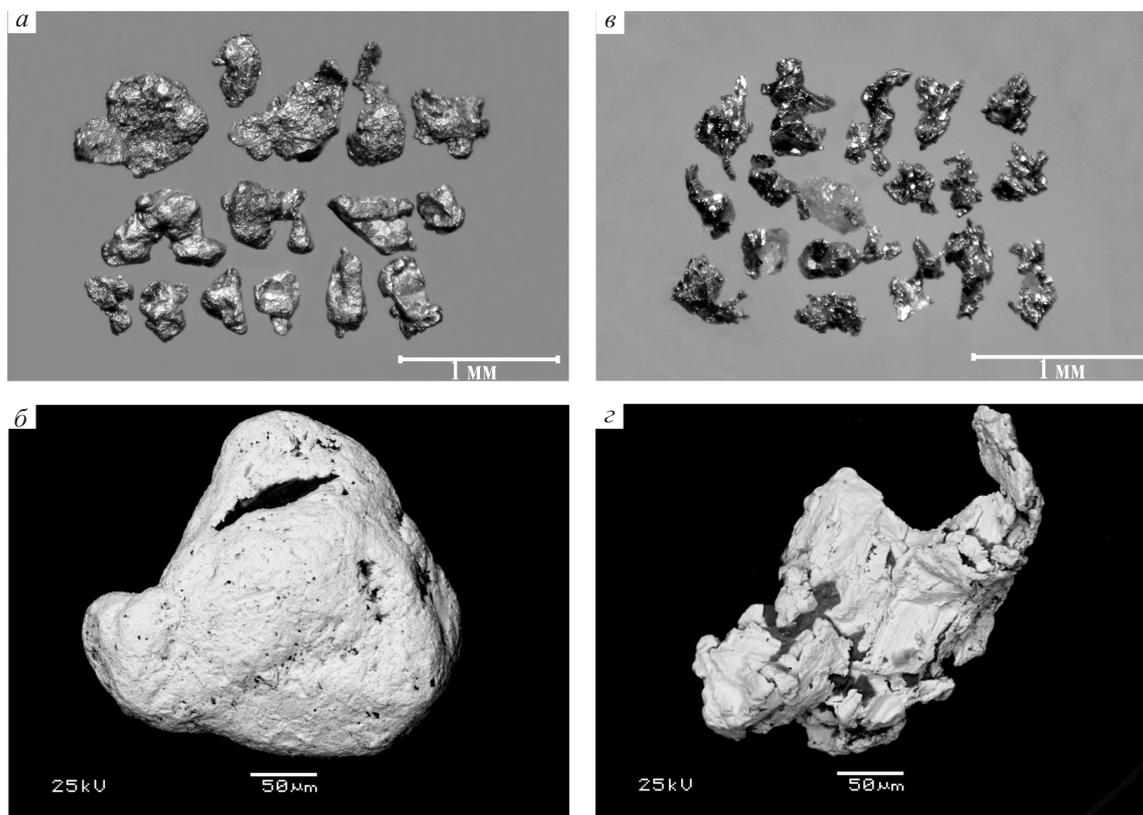


Рис. 1. Морфология золота россыпей Шахтаминского района первой (а, б) и второй (в, г) разновидностей:

а — сростки пластинчатых и искаженных кристаллов, гемиидиоморфные и трещинно-прожилковидные золотины с неровной поверхностью; б — сросток искаженных кристаллов (электронное изображение); в — сростки кристаллов и интерстициальные золотины в сростании со слюдами, кварцем и темноцветными минералами; г — трещинно-прожилковидное выделение золота в сростании с гидроксидами железа (электронное изображение)

щинно-прожилковидные выделения имеют ямчато-бугорчатую, мелкоямчатую, тонкозаноистую поверхность, сохраняющую отпечатки тонкозернистого кварца. Большая часть золота слабо окатана или полуокатана. Лишь в средней части россыпи руч. Кутоманда и россыпи р. Аленгуй появляется незначительное количество среднеокатанного золота, а в россыпи руч. Долгий и в нижней части россыпи руч. Большой Дзалай — окатанные лепешковидные разности.

На золотилах россыпей р. Аленгуй, ручьев Догиня и Малый Дзалай наблюдаются вакуоли с газо-жидкими включениями. В золоте отмечаются включения мелких кристаллов бесцветного, молочно-белого или розового кварца, слабо окрашенного апатита, оранжево-желтого или розового циркона, а также октаэдры магнетита, выделения турмалина (?), чешуйки молибденита и светлой слюды. После выкрашивания этих минералов в золотилах остаются полости, а на поверхности отпечатки их граней. Налеты глинистых минералов белого цвета

и черные или коричнево-бурые пленки гидроксидов железа сохраняются в углублениях или покрывают всю поверхность золотинов. Коррозия золота умеренная, значительно реже зародышевая.

Химический состав Au-1 по данным микро-рентгеноспектрального анализа отдельных золотинов отличается вариациями пробности от 956 до 575‰ при следующем распределении пробности: 850–900 — 40%, 801–850 — 30%, 750–800 — 20%. Весьма высокопробное и низкопробное золото отмечаются редко. Из элементов-примесей постоянно встречаются (мас. %): Te (0,01–0,11) и Hg (0,02–1,61), спорадически — Bi (0,06–0,12), Pb (0,003) и Zn (0,002). Следует отметить постоянное присутствие в золоте примеси Cu. По данным ICP-MS анализа состав элементов-примесей отличается еще большим разнообразием, что будет рассмотрено ниже.

Внутреннее строение Au-1 весьма сложное многофазное и свидетельствует об интенсивной эндогенной его перекристаллизации. Наиболее ран-

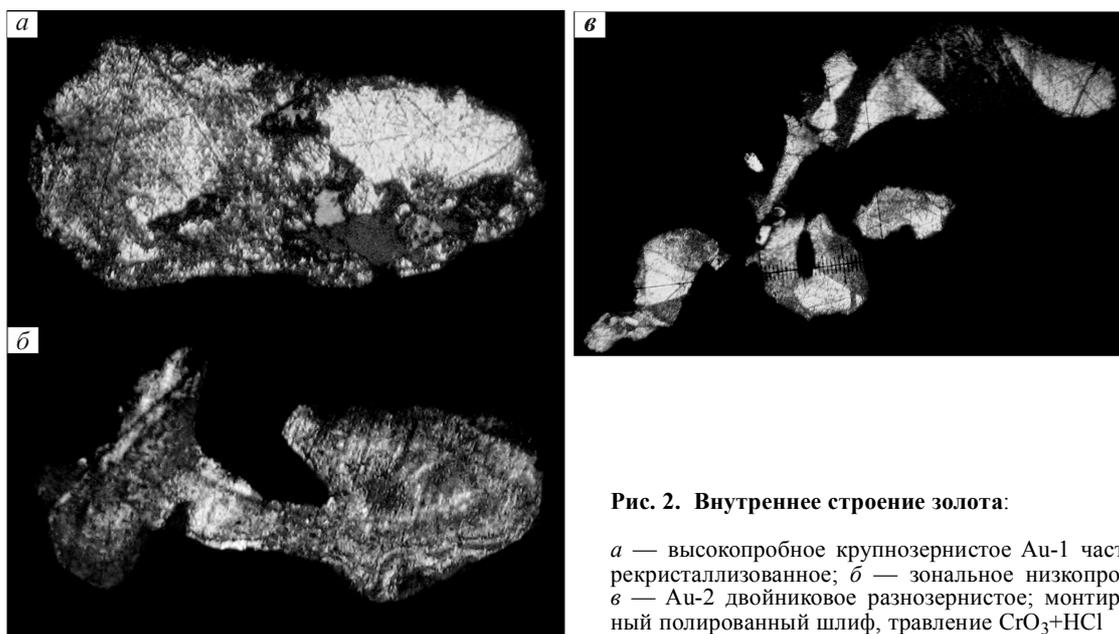


Рис. 2. Внутреннее строение золота:

a — высокопробное крупнозернистое Au-1 частично рекристаллизованное; *б* — зональное низкопробное; *в* — Au-2 двойниковое разнозернистое; монтированный полированный шлиф, травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

нее высокопробное (860–930) золото фазы 1 имеет крупнозернистое строение с признаками деформации и последующей рекристаллизации (рис. 2, *a*). По периферии и в межзерновых промежутках золота фазы 1 отлагалось более низкопробное (790–820) неяснозональное фазы 2, в ряде случаев полностью замещающее высокопробную фазу. В низкопробном золоте видны следы дезинтеграции. По зонам разуплотнения золота фазы 2 отлагалось наиболее низкопробное (620–750) золото фазы 3. Самостоятельные выделения золота фазы 3 (670–770) отчетливо зонального строения присутствуют в россыпях Кадай-Дзалайской группы и руч. Бугдая (см. рис. 2, *б*). Наличие такого низкопробного зонального золота свидетельствует о малоглубинных условиях его отложения.

Гипергенные изменения Au-1 в виде высокопробных коррозионных оболочек проявлены неодинаково в россыпях различных порядков. Наиболее они развиты в глубоких пластах нижних частей россыпей долин более высоких порядков. Мощность коррозионной оболочки золота из россыпей руч. Кутоманда и р. Аленгуй достигает 0,1 мм, нижней части россыпи руч. Бугдая — 0,05 мм. Значительные гипергенные преобразования золота наблюдаются также в низовьях ручьев Долгий и Большой Дзалай, где высокопробная оболочка достигает 0,15 мм, что свидетельствует о сохранении в россыпях золота более ранних эрозионных циклов. В то же время, в верховьях этих водотоков золото практически лишено признаков

гипергенных преобразований, наблюдается лишь спорадическая зародышевая оболочка мощностью <0,001 мм.

Золото *второй разновидности* (Au-2) распространено в россыпях неравномерно. Наибольшее его количество сосредоточено в верхней части россыпи руч. Кутоманда, где присутствует верхний пласт (Q_3). Далее вниз по россыпи в глубокозалегающих пластах оно либо отсутствует, либо встречается в виде единичных золотинок. Аналогичная картина наблюдается в россыпи руч. Бугдая, где в верхней части Au-2 составляет 25%, а в нижней — 2%. В россыпи р. Аленгуй единичные золотины Au-2 отмечаются на всем разведанном участке. В Кадай-Дзалайской группе с позднечетвертичными россыпями Au-2 встречается редко или отсутствует.

Au-2 заметно отличается от основного золота первой разновидности по морфологии, пробности и составу элементов-примесей. Оно мелкое, преобладающий размер — $-0,5+0,25$ мм. Для него характерны сложные, гемиидиоморфные или интерстициальные формы, в подчиненном количестве присутствуют трещинно-прожилковидные и цементационные разности (см. рис. 1, *в*, *г*). Золотины отличаются красноватым цветом и наблюдаются в сростках с титано- и хромомagnetитом, гематитом, слюдами (фукситом, мусковитом, биотитом), бесцветным прозрачным кварцем и голубовато-зеленым игольчатым пироксенном (гиперстен?). Поверхность золотинок зеркальная гладкая или ямчато-ячеистая,

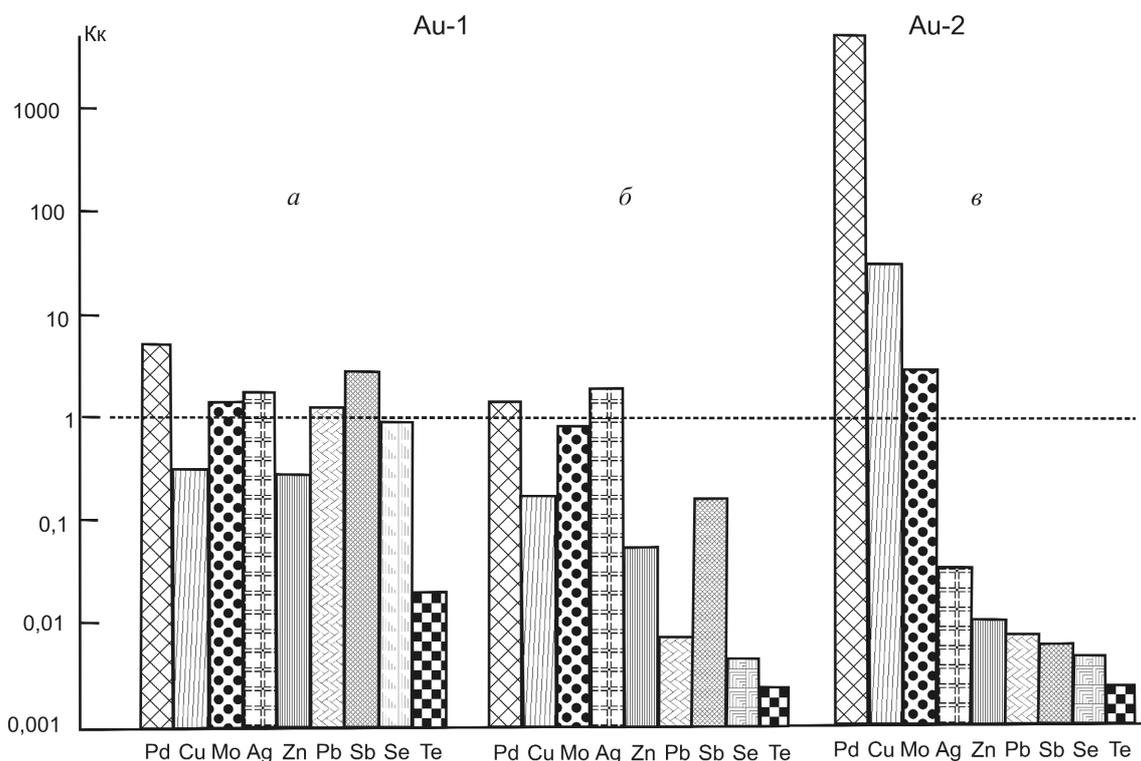


Рис. 3. Элементы-примеси в самородном золоте россыпей Кадай-Дзалайской, Аленгуйской (а) и Шахтаминской (б, в) групп

реже со ступенчатым рельефом. Золото неокатано и сохраняет «рудный» облик.

Внутреннее строение разномерное, двойниковое с признаками грануляции и дезинтеграции, отражающими глубокую степень метаморфизма золота (см. рис. 2, в). Характерны устойчивая весьма высокая пробность золотин 951–964‰ при средней 961‰, постоянное присутствие значительной примеси Cu (1,63–1,9 мас. %), Pd (0,42–0,66 мас. %), Te (0,01–0,09 мас. %) и Hg (0,34–0,61 мас. %). Au-2 не несет сколько-нибудь ощутимых признаков гипергенного преобразования.

Для сравнения золота двух разновидностей был проведен анализ состава 17 проб методом ICP-MS на приборе «Элан-6100» фирмы Перкин-Элмер. Пределы определяемых концентраций элементов-примесей составляют $n \cdot 10^{-8}$ – 10^{-9} . Анализ показал anomalно высокие содержания во всех пробах REE, U, Ge, Ta, Nb, W и относительно повышенные содержания Mo, Cu, Pd. Рассчитаны коэффициенты концентраций (K_k) для ряда элементов как отношение содержания элемента в самородном золоте конкретного объекта к его среднему значению в самородном золоте золото-полисульфидно-кварцевых месторождений. На гисто-

граммах отчетливо видна контрастность составов Au-1 и Au-2 (рис. 3).

В Au-1 присутствуют элементы-примеси, сопоставимые с их содержаниями в золоте золото-полисульфидно-кварцевых месторождений. Для Au-2 (ручьи Кутоманда и Бугдая) характерны ураганно высокие содержания Pd и anomalно высокие — Cu при резком понижении содержаний Ag, Pb, Zn, Sb, Se, Te.

Итак, в россыпях Шахтаминского района присутствует золото с контрастными морфологическими и геохимическими признаками, пространственно связанное с отложениями разного возраста (рис. 4).

Очевидно, что приуроченность двух выделенных типов золота к разным литолого-стратиграфическим уровням разреза рыхлых плиоцен-четвертичных и четвертичных отложений отражает характер вертикальной рудной зональности коренных источников. В качестве таковых в Шахтаминском рудном районе выступают месторождения меднопорфирового семейства, представленные золотосодержащим молибден-порфировым типом. Как известно [1], распределение минералого-геохимических типов руд этих месторождений подчинено вертикальной зональности, в соответствии с кото-

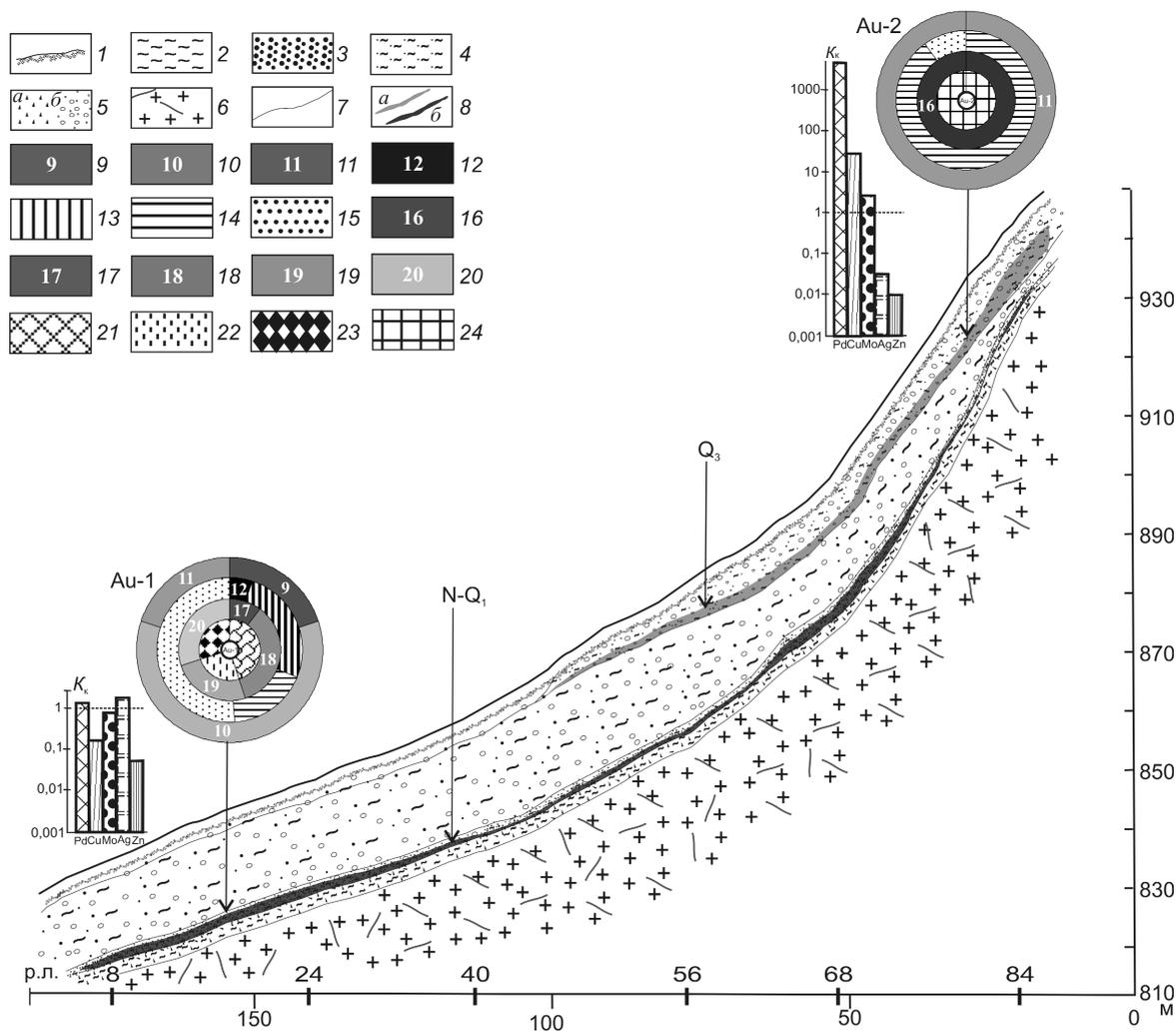


Рис. 4. Приуроченность золота различных разновидностей к разновозрастным золотосным отложениям, схематический продольный профиль россыпи руч.Кутоманда (верховья р.Унда, Шахтаминский район):

1 — почво-растительный слой; песчано-гравийно-галечные отложения: 2 — глина, 3 — песок, гравий, 4 — супесь, суглинок, 5 — дресва (а), галька разных размеров (б); 6 — ранне-среднеюрские гранитоиды шахтаминского комплекса; 7 — границы литологических разновидностей; 8 — контуры пласта (а — позднечетвертичного, Q₃, б — плиоцен-раннечетвертичного возраста, N-Q₁); типоморфные признаки золота — характер и мощность гипергенных оболочек: 9 — сплошные, 0,п мм, 10 — то же, 0,0п мм, 11 — спорадические 0,00п мм; гранулометрия, мм: 12 — +1, 13 — -1+0,5, 14 — -0,5+0,25, 15 — -0,25; пробыность Au, ‰: 16 — >950, 17 — 901–950, 18 — 851–900, 19 — 801–850, 20 — <800; внутреннее строение: 21 — многофазное зернисто-зональное, 22 — рекристаллизованное, 23 — зональное, 24 — зернистое двойниковое метаморфогенное

рой на нижних уровнях медно-порфировых рудно-магматических систем (РМС) сосредоточены молибденит-халькопиритовые руды с высокопробным золотом, а на верхних — золото-полисульфидные, близкие по составу телетермальным золото-серебряным и характеризующиеся присутствием низкопробного золота. Ярким примером такой зональности с соответствующим распределением различных типов золота являются золотосодержащие молибден-медно-порфировые месторождения Алмалыкского рудного района в Узбекистане [2].

В россыпях Шахтаминского рудного района Au-1 по своим характеристикам отличается более низкой пробыностью, сложной внутренней структурой, наличием примесей Ag, Pb, Zn, Sb, Se, Te, включений молибденита и отвечает золото-полисульфидным рудам, которые послужили их коренным источником. Распространение этого типа золота в глубоко залегающих пластах плиоцен-раннечетвертичного возраста фиксирует локализацию продуктов разрушения и перемыва верхней части медно-порфировой РМС в этих отложениях. В то

же время, для Au-2 с учетом его особенностей (исключительно высокопробное, метаморфизованное, медистое с примесью Pd, включениями титано- и хромомagnetита), вероятно, в качестве коренных источников служили молибденит-халькопиритовые руды. Принадлежность этих руд к более глубоким горизонтам медно-порфировой РМС определило приуроченность золота данного типа к позднечетвертичным пластам, занимающим наиболее высокое положение в многоярусных россыпях.

Таким образом, типоморфные признаки золота из россыпей Шахтаминского района дают основание связывать их коренные источники с разными уровнями медно-порфировой РМС. В разрезах рудовмещающих рыхлых отложений (от нижних уровней к верхним) закономерно проявлена зональность (обратная по отношению к рудной зональности коренного источника), выраженная в изменении типоморфных признаков золота.

Различный неотектонический режим развития морфоблоков привел к разному уровню вскрытия медно-порфириновых РМС: наибольшему — в районе Шахтаминской группы россыпей (широкое распространение Au-2) и наименьшему — в Кадай-Дзалайской группе.

Характер изменения признаков золота в россыпях свидетельствует о том, что наиболее близко к

коренным источникам расположены россыпи ручьев Бугдая и Кутоманда. Более протяженные россыпи ручьев Большой Дзалай и Догиня, в низовьях которых наблюдается окатанное и преобразованное в зоне гипергенеза золото, удалены от коренных источников.

Использование тонких методов исследования золота позволяет определять не только рудно-формационный тип коренных источников золота, но и степень их эродированности, что является важным фактором при выборе направлений поисковых работ на рудное золото и оценке перспектив россыпной золотоносности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Меднопорфириновые* месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев, О.В.Минина. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
2. *Николаева Е.И.* Типоморфизм самородного золота в рудах медно-порфириновых месторождений Алмалыкского рудного района // Минералогия и геохимия эндогенных месторождений Средней Азии. Ташкент, 1980. Вып. 3.
3. *Самородное* золото рудных и россыпных месторождений России. Атлас / Отв. ред. А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 2003.
4. *Симонов Ю.Г.* Региональный геоморфологический анализ. – М.: МГУ, 1972.

УДК 552.323.6 (571)

© Д.А.Кошкарёв, К.Н.Егоров, М.А.Карпенко, И.В.Маковчук, 2010

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЛМАЗОНОСНОСТИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД ТРУБКИ ЮБИЛЕЙНАЯ, ЯКУТИЯ

Д.А.Кошкарёв, К.Н.Егоров (Институт земной коры СО РАН), М.А.Карпенко (Нюрбинский ГОК АК «АЛРОСА»), И.В.Маковчук (Айхальский ГОК АК «АЛРОСА»)

В пределах кимберлитовой трубки Юбилейная выделены четыре геолого-технологических типа руд, представленные порфировыми кимберлитами, кимберлитовыми брекчиями и двумя разновидностями автолитовых кимберлитовых брекчий. По данным изучения керновых проб эксплуатационной разведки и выхода коммерческой продукции промышленной фабрики установлено увеличение содержания и крупности алмазов от ранних фаз внедрения кимберлитов к более поздним. На верхних и средних горизонтах центральной, а также западной частей месторождения высокопродуктивные автолитовые брекчии часто выполняют мощные инъекции между крупными ксенолитами осадочных пород и забалансовыми кимберлитовыми рудами. Это требует оперативного пересмотра сортности руд, их селективной выемки и постоянного контроля при оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения. Полученные данные используются при выборе технологических схем обогащения и методов извлечения алмазов, обеспечивающих максимальную степень их сохранности.

Ключевые слова: Якутия, кимберлитовая трубка, алмазность, гранулометрия алмазов
Кошкарёв Денис Анатольевич, koshkar@earth.crust.irk.ru, Егоров Константин Николаевич, egorov@crust.irk.ru, Карпенко Михаил Анатольевич, Маковчук Игорь Валентинович

GENERAL PARAMETERS OF DIAMOND POTENTIAL OF THE KIMBERLITE ORES GEOLOGO-TECHNOLOGICAL TYPES FROM THE LARGEST DIAMOND DEPOSIT PIPE YUBILEYNAYA OF YAKUTIA

D.A.Koshkarev, K.N.Egorov, M.A.Karpenko, I.V.Makovchuk

Four geologo-technological ores types represented by porphyritic kimberlites, kimberlite breccias and two varieties of autholith kimberlite breccias are distinguished within the Yubileynaya kimberlite pipe. Data on core samples and of commercial production of enterprise show that ore types from the Yubileynaya pipe differ not only in total diamond content but in their sieve characteristics. In the Yubileynaya pipe, concentration and size of diamonds increase from early phases of intrusions to later ones. Highly productive autholith breccias fill the thick injections between large xenoliths of sedimentary rocks and kimberlite ores at upper and middle horizons of central and western parts of the deposit. Such situation needs a prompt revision of the ores grade, their selective excavation and constant control of optimization of the and concentration processes. The finding about diamond potential of geologo-technological ores types is used in deciding on technological schemes of concentration and methods of diamond recovery securing the maximum degree of their safety.

Key words: Yakutia, kimberlite pipe, diamond potential, grade analysis of diamonds.

К числу крупнейших коренных месторождений алмазов Якутской провинции относится многофазная кимберлитовая трубка Юбилейная, которая включает почти 1/3 общего объема всех проявлений кимберлитового магматизма Алаkitского поля. В настоящее время по трубке накоплен большой материал, касающийся геологического строения и особенностей формирования уникального месторождения, петрографо-минералогического и петрогеохимического состава кимберлитов различных фаз внедрения, детальной характеристики кристалломорфологических и оптико-физических параметров алмазов [3, 5–7, 10, 11, 13, 14]. Ранее опубликованные работы [3, 10, 13, 14] по геологическому строению и вещественному составу трубки основаны на фактических данных, полученных в основном при изучении кернового материала детальной разведки и доразведки глубоких горизонтов месторождения. Вследствие недостатка факти-

ческого материала и предварительной изученности объекта сформировался широкий разброс мнений не только по количеству выделяемых фаз внедрения кимберлитов, но и механизму образования трубки Юбилейная. По данным работ [3, 13, 14], трубка Юбилейная — типичный слабоэродированный вулканический аппарат с хорошо сохранившимся кратерным растробом, заполненным переотложенными терригенно-вулканическими породами, туфами, туфобрекчиями. Другие авторы [10] предполагают, что трубка образована в процессе механического и физико-химического воздействия на осадочные породы внедряющегося кимберлитового флюида-расплава без мощных газовых взрывов и формирования пирокластических пород. Принятие той или иной модели образования трубки косвенно влияет на подсчет запасов геологических блоков рудного тела и в целом на эффективность отработки месторождения.

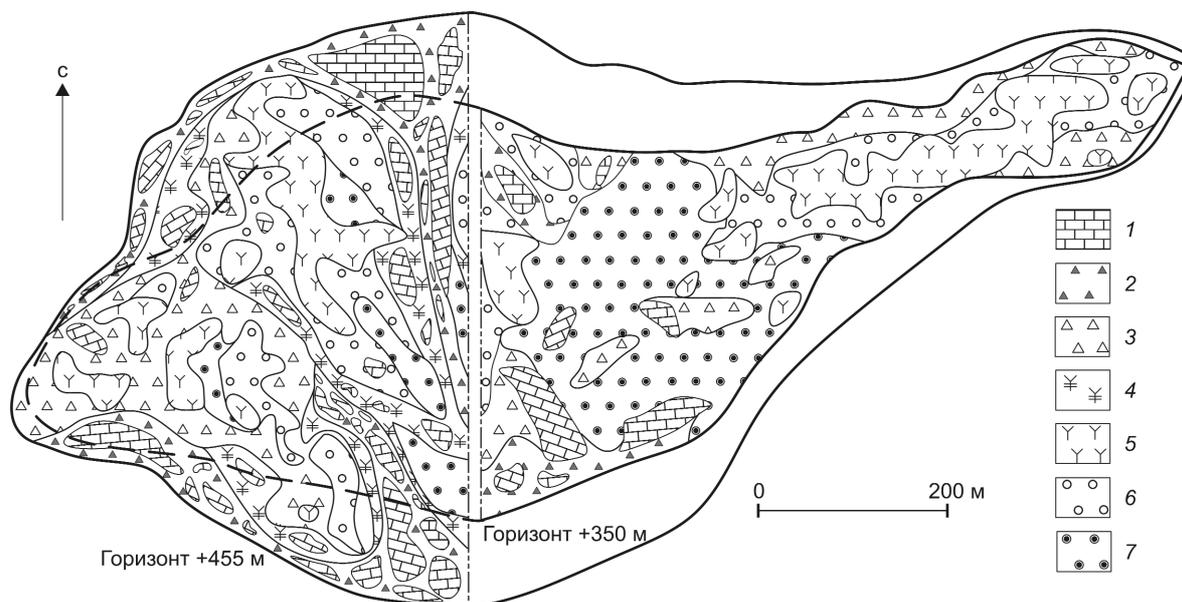


Рис. 1. Геологическое строение трубки Юбилейная на верхних (+455 м) и средних (+350 м) горизонтах:

1 — крупные ксенолиты вмещающих осадочных пород; 2 — ксенолитонасыщенные кимберлитовые брекчии (количество ксенолитов от 25 до 80 об. %); 3 — кимберлитовые брекчии с содержанием ксенолитов <25 об. %; 4 — афировые и шлирово-такситовые кимберлиты; 5 — порфиоровые кимберлиты; 6 — автолитовые кимберлитовые брекчии промежуточной фазы внедрения; 7 — то же, поздней фазы внедрения

По результатам обогащения керновых и крупнообъемных проб на стадии геологической разведки трубки детально изучена минералогия алмазов из двух фаз внедрения — порфиоровых кимберлитов и автолитовой кимберлитовой брекчии [7]. Анализ основных параметров алмазоносности кимберлитов показал, что трубка Юбилейная относится к числу месторождений с отличающимися типоморфными особенностями алмазов отдельных фаз внедрения. Порфиоровые кимберлиты характеризуются повышенным количеством округлых и поликристаллических сростков алмазов и иными фотолюминесцентными свойствами кристаллов по сравнению с автолитовой брекчией. Последняя имеет более высокий процент кристаллов октаэдрического габитуса и алмазов ювелирного качества.

Появление качественно новой информации по алмазоносности различных геолого-технологических типов кимберлитовых руд трубки Юбилейная стало возможным в результате мониторинга отработки месторождения начиная с 1986 по 2007 гг.

Краткие сведения по геологическому строению трубки Юбилейная. При картировании юго-западной и северо-восточной частей трубки (рис. 1) выделены основные геолого-петрографи-

ческие типы кимберлитов — слюдистые порфиоровые кимберлиты, кимберлитовые брекчии и автолитовые кимберлитовые брекчии, отличающиеся по текстурно-структурным, минералогическим, петрогеохимическим признакам и алмазоносности [6,11]. Центральная часть трубки сложена более широким спектром кимберлитовых пород: кимберлитовыми брекчиями с содержанием ксенолитов от 15–20 до 80–90%, автолитовыми кимберлитовыми брекчиями двух фаз внедрения, шлирово-такситовыми, афировыми и спорадофировыми кимберлитами (рис. 2; см. рис. 1). Здесь же отмечаются отдельные блоки порфиорового кимберлита, который по вещественному составу близок к слюдистым порфиоровым кимберлитам фланговых частей трубки.

В пределах центральной части месторождения преобладают пластообразные тела мощностью до 100–130 м карбонатных брекчий с небольшим содержанием кимберлитового материала. Характерная особенность верхних и средних горизонтов рудного тела — наличие большого объема протяженных блоков («плавающих рифов») осадочных пород (см. рис. 2). Эти крупные фрагменты вмещающих пород цементируются спорадофировыми, шлирово-такситовыми, порфиоровыми кимберлитами, а также пронизаны крупными апофизами ким-

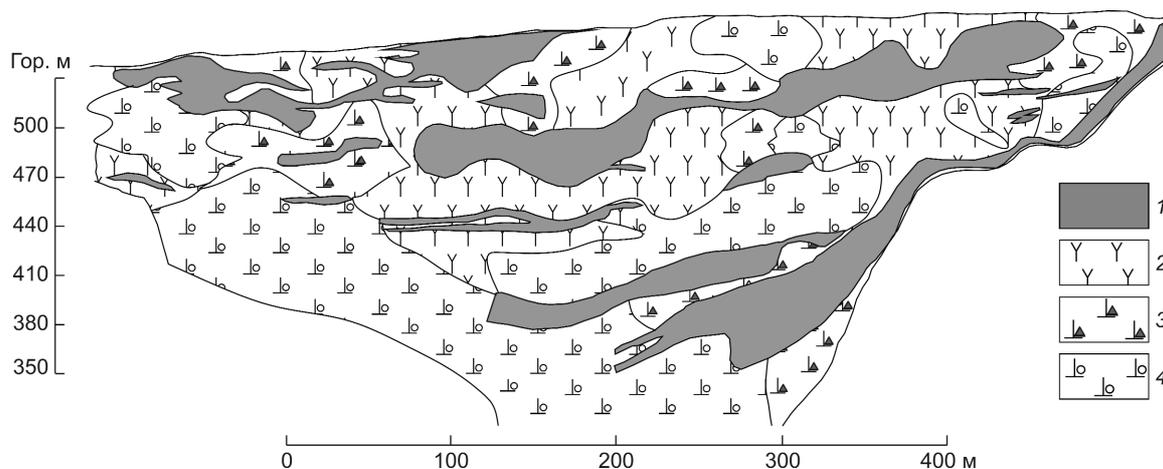


Рис. 2. Схематический геологический разрез трубки Юбилейная по центральному поперечному профилю ПР 44, с учетом материалов эксплуатационной разведки:

1 — крупные ксенолиты вмещающих осадочных пород с прослоями, инъекциями шпирово-такситовых и афировых кимберлитов; 2 — порфировые кимберлиты; 3 — кимберлитовые брекчии; 4 — автолитовые кимберлитовые брекчии промежуточной и поздней фаз внедрения

берлитовых брекчий и автолитовых кимберлитовых брекчий. В апофизах ярко выражена флюидално-полосчатая текстура пород, обусловленная чередованием слоев из материала разной крупности — от среднеобломочных брекчий до мелкообломочных и афировых кимберлитов.

Изучение контактовых взаимоотношений между различными геолого-петрографическими типами кимберлитов месторождения позволило установить схему последовательности формирования трубки в три этапа.

На начальном интрузивном этапе, предшествующем образованию трубки, по зоне трещин растяжения северо-восточного простирания внедрились штокообразные и жильные кимберлитовые тела, сложенные слюдыстым порфировым кимберлитом. Далее в результате криптоэксплозивных процессов происходило формирование грибообразной области дробления вмещающих пород и частично порфировых кимберлитов, а затем постепенное заполнение этой области различными фазами кимберлитового расплава (второй этап). Гетерогенные апофизы, представленные чередующимися спорадическими, шпирово-такситовыми кимберлитами и вмещающими породами в центральной части раструба трубки, возникли в процессе активного внедрения высокофлюидизированного кимберлитового расплава по зонам межблокового пространства осадочных пород. Формирование трубчатого тела на третьем этапе завершилось становлением автолитовых брекчий в виде куполообразного тела на

средних и нижних горизонтах диатремы, а также линзовидных, жильных и пластообразных тел в верхней части месторождения.

Отсутствие типичных кратерных осадочных отложений и практически полное перекрытие центральной части месторождения «плавающими рифами» осадочных пород и пластообразными телами карбонатных брекчий (см. рис. 1, 2) свидетельствует о том, что трубка Юбилейная не является классическим вулканическим аппаратом с кратерной постройкой. Она представляет собой слабоэродированное «полуслепое» криптоэксплозивное тело, сходное по морфологии и механизму формирования с трубкой Одинцовская (Алакиское кимберлитовое поле) [8].

Кимберлитовая трубка Юбилейная — сложный геологический объект для отработки (наличие до шести геолого-технологических типов кимберлитовых руд, высокая ксенолитизация верхних и средних горизонтов центральной части трубки, большая изменчивость содержаний алмазов в пределах рудного тела и т.д.). В отдельных ее геологических блоках отмечается резкая изменчивость технологических параметров и алмазности кимберлитовых руд даже в пределах небольших фрагментов эксплуатационных горизонтов. В этой связи для исследования основных параметров алмазности кимберлитов трубки выбраны руды таких геолого-технологических типов, которые отвечают следующим требованиям: возможность надежной диагностики типа руды непосредственно на забоях карье-

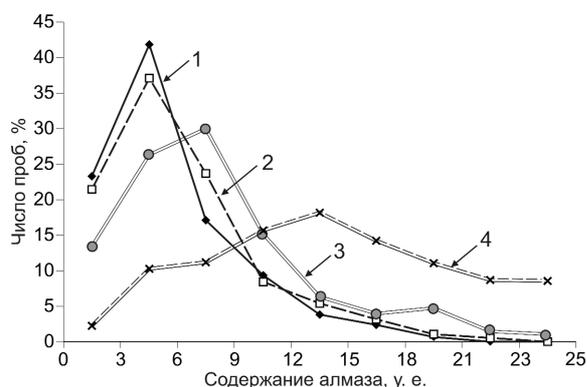


Рис. 3. Частота встречаемости проб с различным содержанием алмазов в геолого-технологических типах руд трубки Юбилейная:

1 — ПК, 540 проб; 2 — КБ, 560 проб; 3 — АКБ I, 480 проб; 4 — АКБ II, 410 проб

ра; достаточно большой объем руды определенного типа в пределах месторождения; наличие руды определенного типа, представленной кимберлитом отдельной фазы внедрения.

Данным требованиям отвечают следующие наиболее распространенные типы кимберлитов трубки Юбилейная: порфировые кимберлиты (ПК), кимберлитовые брекчии (КБ) и две разновидности автолитовых кимберлитовых брекчий (АКБ I и АКБ II). Автолитовые кимберлитовые брекчии промежуточной фазы внедрения (АКБ I) отмечаются практически на всех горизонтах (прослежены до +320 м) и по всему объему месторождения. АКБ I наименее распространены в центральной части трубки, где они фиксируются только на горизонтах выше +380 м. На западном фланге месторождения объем АКБ I с глубиной значительно возрастает, а на восточном — руды этого типа имеют подчиненное значение и преимущественно развиты вдоль контактов крупных блоков порфировых кимберлитов. Автолитовые кимберлитовые брекчии поздней фазы внедрения (АКБ II) занимают значительный объем в центральной части месторождения, а также фиксируются в верхних и нижних частях трубчатого тела. На верхних (от 530 до +440 м) и средних (от 440 до +350 м) горизонтах месторождения АКБ II представлены мощными (до 10–15 м) преимущественно инъекционными телами в межблоковых пространствах вмещающих пород и ранних фаз внедрения ПК, КБ и АКБ I. На нижних горизонтах (ниже отметки +350 м) штокообразное тело АКБ II выполняет центральную часть диатремы.

Проанализированы данные по содержанию и ситовым характеристикам алмазов, извлеченных в процессе обогащения ~2500 керновых проб эксплуатационной разведки. При этом отбраковывались те пробы, 15-метровый интервал которых содержал более двух геолого-петрографических разновидностей кимберлитов или 2–3-метровые прослои осадочных пород. Кроме того, в подсчете средних содержаний алмазов в геолого-технологических типах руд не учитывались пробы, значительно разубоженные осадочным материалом породы.

Содержание алмазов в рудах различных геолого-технологических типов трубки Юбилейная. Кимберлитовые руды по содержанию алмазов ранжированы по следующей схеме: бедные — 1–4 условные единицы (у.е.), средние — 4–7 у.е., богатые — >7 у.е.

Порфировые кимберлиты представлены бедными и средними рудами на западном фланге месторождения, средними, реже богатыми (до 9–9,5 у.е.) — на восточном. Среднее содержание алмазов в них в целом по месторождению, включая западный и восточный фланги трубки — 5,5 у.е. Анализ распределения проб порфировых кимберлитов с различным содержанием алмазов показан на рис. 3. Содержания >11 у.е. обусловлены наличием инъекционных тел более поздних АКБ II и АКБ I с повышенной алмазоносностью, которые попали в 15-метровый интервал керна.

В **кимберлитовых брекчиях** с ксенолитами осадочных пород не более 30% среднее содержание алмазов составляет 6,6 у.е. (см. рис. 3). Однако в общей выборке проб кимберлитовых брекчий нередко преобладают пробы с пониженной алмазоносностью (в среднем 4,2 у.е.), близкой к таковой в порфировых кимберлитах. Это связано с тем, что на 15-метровом интервале керна в кимберлитовых брекчиях практически всегда присутствуют участки, обогащенные обломками осадочных пород мощностью до 1–1,5 м. Если в подсчет включить пробы с содержанием обломочного материала от 40 до 70 об. %, то средние показатели алмазоносности пород снижаются в 2,3 раза и составляют всего 3,1 у.е. График распределения проб по содержанию алмазов в кимберлитовых брекчиях близок к кривой в порфировых кимберлитах (см. рис. 3). Более половины проб кимберлитовых брекчий попадают на интервал 3–6 у.е., что отвечает среднему содержанию алмазов в этом типе руд в целом по месторождению. Пробы кимберлитовых брекчий с количеством ксеногенного материала не более 30% ложатся на интервал от 6 до 11 у.е. (~25% проб). Наибольший максимум алмазоносности наблюдается в

диапазоне 12–13 у.е. в пробах кимберлитовых брекчий, содержащих не более 10–15% обломков осадочных пород. Таким образом, на примере кимберлитовых брекчий подтверждается установленная ранее отчетливая корреляция между продуктивностью пород и содержанием в них ксеногенного материала. [1, 4, 7, 12].

Автолитовые кимберлитовые брекчии промежуточной фазы внедрения. Более половины проб из этих пород попадают в интервал от 3 до 8 у.е. с последующим уменьшением количества проб к интервалу 13 у.е. (см. рис. 3). Число проб с продуктивностью от 14 у.е. и более в отличие от ПК и КБ составляет >20%. Наиболее богатые по содержанию алмазов пробы имеют не более 10% обломков осадочных пород. По усредненному значению алмазоносности АКБ I относятся к богатым рудам с содержанием алмазов 8,5 у.е., т.е. это несколько выше, чем в кимберлитовых брекчиях, разубоженных аналогичным количеством ксеногенного материала.

Автолитовые кимберлитовые брекчии поздней фазы внедрения. Продуктивность АКБ II на верхних, средних и нижних горизонтах контрастно различается. На верхних горизонтах центральной части трубки, где АКБ II представлены, как правило, ксенолитонасыщенными разностями, содержание алмазов в пробах редко превышает 4 у.е. Из них лишь ~15% проб АКБ II показали алмазоносность 9 у.е.

АКБ II средних горизонтов трубки характеризуются меньшим количеством (не более 10–15%) обломков вмещающих пород и являются одной из наиболее продуктивных руд в трубке Юбилейная (см. рис. 3). Присутствие даже маломощных (1–2 м) апофиз, внутритрубочных жил, линзовидных обособлений АКБ II ощутимо повышает общую продуктивность обрабатываемого забоя независимо от того, каким типом руды сложена основная масса блока. Среднее содержание алмазов в пробах АКБ II на этом уровне рудного тела составляет 15 у.е. Примерно 27% проб АКБ II имеют алмазоносность >10 у.е., максимальные значения достигают 24 у.е.

АКБ II нижних горизонтов трубки (ниже отметки +350 м) наиболее алмазоносны в объеме всего месторождения. Более половины (65%) проб из АКБ II нижних горизонтов показали содержание >10 у.е. с максимальным содержанием алмазов 28 у.е.

Таким образом, сопоставление алмазоносности различных геолого-технологических типов руд трубки Юбилейная свидетельствует о постепенном возрастании содержания алмазов от первых фаз внедрения (ПК) через промежуточные (КБ, АКБ I)

к завершающим фазам (АКБ II) становления рудного тела. Продуктивность кимберлитов промежуточных фаз внедрения (КБ и АКБ I) в целом близка и ее вариации зависят исключительно от соотношения непосредственно кимберлитового материала и ксенолитов осадочных пород.

Закономерное увеличение алмазоносности в кимберлитах от первых фаз внедрения к более поздним характерно для трубок Сытыканская, Мир и др. [1, 7, 12]. Однако для многих других кимберлитовых тел Якутии подобная закономерность не наблюдается: высокоалмазоносными могут быть кимберлиты как ранних, так и промежуточных фаз внедрения [4, 7].

Ситовые характеристики алмазов в различных геолого-петрографических типах руд трубки Юбилейная. Зависимость гранулометрического состава алмазов от состава пород в многофазных кимберлитовых трубках имеет неоднозначную трактовку [1, 2, 4, 7]. Например, в трубке Мир гранулометрический состав алмазов изменяется в зависимости от смены фаз внедрения кимберлитов: в автолитовых брекчиях и кимберлитах с массивной текстурой цемента заключительной фазы внедрения значительно повышена крупность кристаллов [1]. В разных рудных столбах многофазных кимберлитовых трубок соотношение весовых долей содержания алмазов по классам крупности иногда может меняться довольно значительно [4]. С другой стороны, по данным работ [2, 7], ситовые характеристики алмазов в пределах других изученных месторождений (трубки Удачная, Айхал, Сытыканская и др.) изменчивы в меньшей степени, чем содержание алмазов.

Ситовые характеристики алмазов в различных геолого-технологических типах руд трубки Юбилейная изучались по данным обогащения керновых проб эксплуатационной разведки и выхода продукции промышленной фабрики.

Содержание алмазов мелких (-2+0,5 мм) классов в *порфировых кимберлитах* в сравнении с другими типами руд варьирует незначительно в пределах 1–6 у.е. (рис. 4). Более половины проб ПК отличаются повышенной алмазоносностью в классе -2+1. Другая их характерная особенность — отсутствие корреляции между содержаниями алмазов в классах 2+1 и -1+0,5 мм (см. рис. 4).

В *кимберлитовых брекчиях* в отличие от порфировых кимберлитов наблюдается прямая корреляция между содержаниями алмазов двух приведенных классов (см. рис. 4). Кроме того, содержание алмазов размерностью -2+1 в пробах в большинстве случаев превышает содержание кристаллов в классе -1+0,5. В кимберлитовых брекчиях за-

падной части месторождения в отличие от аналогичного типа пород восточного фланга трубки существенно преобладают алмазы класса -2+1 мм.

Автолитовые кимберлитовые брекчии промежуточной фазы внедрения характеризуются равным соотношением содержания алмазов в классах -2+1 и -1+0,5 (см. рис. 4).

Анализ ситовых характеристик алмазов мелких классов в *автолитовых кимберлитовых брекчиях поздней фазы внедрения* свидетельствует о значительном преобладании кристаллов в классе -2+1 по сравнению с остальными геолого-технологическими типами руд трубки Юбилейная (см. рис. 4).

Для *порфировых кимберлитов* характерно низкое содержание алмазов средних (-4+2 мм) и крупных (-8+4 мм) классов (табл. 1).

В *кимберлитовых брекчиях*, несмотря на высокие содержания ксенолитов осадочных пород, отмечается существенное количество проб, из которых извлечены алмазы в классах -4+2 мм и +4 мм, т.е. 16,28 и 0,29% соответственно (см. табл. 1). Повышенное содержание алмазов средних (-4+2 мм) и крупных (-8+4 мм) классов наблюдается в тех пробах, которые отличаются повышенной алмазно-

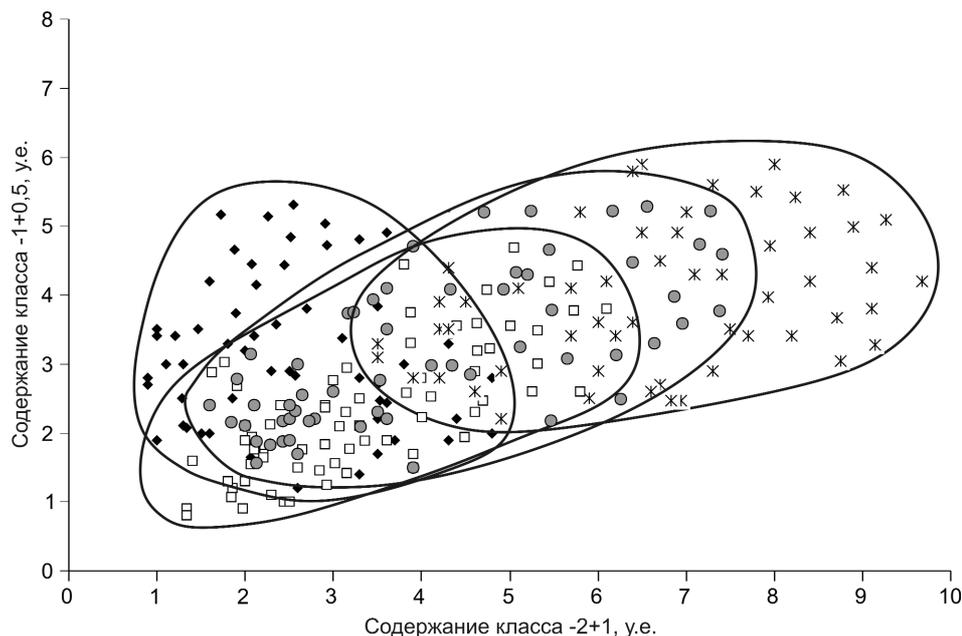


Рис. 4. Соотношение мелких ситовых классов в пробах различных геолого-технологических типов руд трубки Юбилейная:

усл. обозн. см. рис. 3

ностью и одновременно низким количеством ксеногенного материала.

Для *автолитовых кимберлитовых брекчий промежуточной фазы внедрения* характерна повышенная алмазоносность пород в средних и крупных классах: в 53% проб установлен класс -4+2 мм и ~2% проб содержит класс +4 мм (см. табл. 1). Таким образом, АКБ I имеют не только более высокую алмазоносность по отношению к КБ и ПК, но и большую крупность алмазов в среднем классе.

Автолитовые кимберлитовые брекчии поздней фазы внедрения в сравнении с другими типами кимберлитовых руд месторождения отличаются наибольшим содержанием алмазов средних и круп-

1. Число эксплуатационных разведочных керновых проб с присутствием средних и крупных классов алмазов в различных геолого-технологических типах руд трубки Юбилейная, %

Ситовые классы	Типы руд	Кимберлитовые брекчии с содержанием ксеногенного материала		Автолитовые кимберлитовые брекчии	
		от 25 до 70%	<25%	промежуточной фазы внедрения	поздней фазы внедрения
-4+2	Порфировые кимберлиты	37,0	16,28	31,0	71,0
-8+4		1,0	0,29	1,2	5,2

2. Среднее содержание коммерческих ситовых классов в различных геолого-технологических типах руд трубки Юбилейная, %

Типы руд Ситовые классы	Порфи- ровые ким- берлиты	Кимбер- литовые брекчии	Автолитовые кимберлитовые брекчии	
			промежуточной фазы внедрения	поздней фазы внедрения
-1,7+1,0	62,4	59,73	58,0	56,6
-4,75+1,7	30,9	31,2	33,54	33,7
-6,75+4,75	4,94	6,28	6,01	6,75
+6,75	1,73	2,78	2,45	2,97

ных классов (см. табл. 1). В данном случае подтверждается прямая зависимость между содержанием алмазов в мелких и крупных классах. Эта закономерная связь между содержанием и ситовым размером алмазов по классам крупности от $-1+0,5$ до $-16+8$ мм имеет в логарифмических координатах параболический вид, т.е. полученные таким способом оценки содержания крупных алмазов зависят от количества мелких алмазов доминирующего класса [9]. Заметим, что по содержанию алмазов в эксплуатационных пробах (класс $-2+0,5$ мм) достаточно успешно прогнозируются коммерческие классы алмазов в обрабатываемых геологических блоках многих месторождений Якутии (трубки Удачная, Мир, Айхал и др.) [4, 9].

Для подтверждения результатов, полученных по данным эксплуатационной разведки трубки Юбилейная, авторы изучили изменения геологического строения забоев в ходе их отработки и одновременно вариаций выхода ситовых классов на промышленной фабрике. Главной целью мониторинга являлось выявление связи между типом руды на забое и выходом различных классов крупности алмазов при фабричной переработке руд разных типов. Результат мониторинга за один месяц показал изменение относительного процентного содержания мелкого, среднего и крупного классов крупности в зависимости от типа поставляемой на фабрику руды (табл. 2). Анализ выхода ситовых классов по коммерческой продукции промышленной фабрики полностью подтвердил мнение о более высоком содержании средних и крупных классов в АКБ II относительно других геолого-технологических типов кимберлитов трубки Юбилейная.

Проведенные работы позволили определить основные параметры алмазоносности различных геолого-технологических типов руд трубки Юбилейная.

Для ПК характерны средняя общая продуктивность (5,5 у.е.) и низкая вариабельность содержания полезного компонента в объеме трубки, отсут-

ствие или слабая корреляция между содержанием кристаллов различных ситовых классов с прева-лированием содержания алмазов в мелких классах, в сравнении с другими типами руд наиболее низкое содержание алмазов средних и крупных ситовых классов.

КБ характеризуются крайне неустойчивой продуктивностью (от бедной до средней, реже до богатой — от 3,1 до 7 у.е.), обусловленной широким диапазоном содержания ксеногенного материала от 10 до 80 об. %. Наблюдается отчетливая корреляция между мелкими, а также средними и крупными классами алмаза. Содержание доминирующего класса ($-2+1$) достаточно устойчивое, в то время как содержание средних и крупных классов алмазов в КБ в объеме рудного тела сильно варьирует: КБ западного фланга трубки имеют повышенную крупность алмазов, восточного — более низкую.

АКБ I и АКБ II присущи более высокая алмазоносность (в среднем 8,5 у.е. для АКБ I и 15 у.е. для АКБ II), прямая корреляция между содержаниями алмазов мелких, средних и крупных классов, повышенное содержание кристаллов средних и мелких классов в АКБ I и наиболее высокий процент алмазов крупных классов в АКБ II.

Таким образом, по данным изучения керновых проб эксплуатационной разведки и выхода коммерческой продукции промышленной фабрики различные геолого-технологические типы руд в трубке Юбилейная отличаются между собой не только по общему содержанию алмазов, но и по их ситовым характеристикам. В трубке Юбилейная надежно устанавливается увеличение содержания и параллельно крупности алмазов от ранних фаз внедрения кимберлитов к более поздним. На верхних и средних горизонтах в центральной, а также западной частях месторождения высокопродуктивные АКБ I и АКБ II часто выполняют мощные инъекции между крупными ксенолитами осадочных пород и забалансовыми рудами, представленными спорадофировыми, шлирово-такситовыми кимберлитами. Подобная геологическая ситуация приводит к необходимости оперативного пересмотра сортности руд, их селективной выемки и постоянного контроля при оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения. Полученные данные по алмазоносности геолого-технологиче-

ских типов руд используются при выборе технологических схем обогащения и методов извлечения алмазов, обеспечивающих максимальную степень их сохранности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аргунов К.П.* Алмазы Якутии: физические, морфологические, геммологические особенности. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005.
2. *Ваганов В.И.* Алмазные месторождения России и мира. – М.: Геоинформмарк, 2000.
3. *Возраст вулканомиктовых пород в одной из кимберлитовых трубок Далдыно-Алакитского района / В.А.Липатова, В.А.Побережский, Ю.Г.Старицкий и др. // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246. № 4. С. 935–938.*
4. *Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Кн 1. Коренные месторождения / В.М.Подчасов, В.Е.Минорин, И.Я.Богатых и др. Якутск: Изд-во СО РАН, 2004.*
5. *Егоров К.Н., Семенова В.Г., Насурдинов Т.Г.* Эволюция химического состава шпинелидов из основной массы кимберлитов трубки «Юбилейная» (Якутия) // Докл. РАН. 1997. Т. 357. № 3. С. 387–389.
6. *Егоров К.Н., Кошкарев Д.А., Карпенко М.А.* Минералого-геохимические критерии алмазоносности кимберлитов многофазной трубки «Юбилейная» (Якутия) // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 3. С. 257–262.
7. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003.
8. *Лелюх М.И., Крючков А.И., Устинов В.И.* О закономерностях пространственного размещения кимберлитов в Айхальском районе // Проблемы кимберлитового магматизма. Новосибирск, 1989. С. 88–97.
9. *Минорин В.Е., Безбородов С.М.* Аналитическая оценка содержания крупных кристаллов по установленной зависимости между содержанием и размером алмазов в месторождении // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный, 1998. С. 371–372.
10. *Особенности пород и условий формирования одной из кимберлитовых трубок Алакитского поля / Г.В.Зольников, В.В.Ковальский, Л.А.Зимин и др. // Минералогия и геохимия кимберлитовых и трапповых пород. Якутск, 1979. С. 5–39.*
11. *Петрогенетические особенности разнофациальных кимберлитов из многофазной трубки Юбилейная (Якутия) / К.Н.Егоров, Г.Д.Феоктистов, Ю.В.Меньшагин и др. // Геодинамические режимы формирования Центрально-Азиатского складчатого пояса. М., 2001. С. 330–349.*
12. *Распределение алмазов на глубоких горизонтах одной из кимберлитовых трубок Якутии / В.В.Зуенко, Н.С.Маковская, А.Д.Харькив и др. // Геология и геофизика. 1973. № 4. С. 7–14.*
13. *Сарычев И.К.* Особенности геологического строения и процесса формирования одной из кимберлитовых трубок Алакитского поля // Геология и геофизика. 1989. № 11. С. 98–105.
14. *Харькив А.Д.* Особенности строения и состава слабоэродированных кимберлитовых трубок // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 1. С. 78–90.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 622.7+622.342 (571.61)

© Н.С.Остапенко, О.Н.Нерода, А.Ф.Миронюк, 2010

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА ПРИАМУРЬЯ

Н.С.Остапенко, О.Н.Нерода, А.Ф.Миронюк (Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск)

На основе отбора крупнообъемных проб (500 ± 100 кг) проведено комплексное изучение материала из россыпей золота и отвалов их переработки. Установлено, что в отвалах содержания ос- таточного свободного Au 33–330 мг/т. В еще больших количествах в них присутствуют связан- ное золото и широкий спектр сопутствующих минералов, содержащих Ti, W, Sn, REE, Nb, Zr, Hf, Pt и платиноиды, которые возможно попутно извлечь в коллективные концентраты. Обсужда- ются варианты рационального использования рудного потенциала россыпей.

Ключевые слова: россыпь, золото свободное, связанное, сопутствующие минералы.

Остапенко Николай Степанович, ostapenko_ns@mail.ru, Нерода Ольга Николаевна, neroda67@mail.ru, Миронюк Анатолий Федорович

POSSIBLE WAYS OF USING OF TECHNOGENIC GOLD PLACERS IN PRIAMYRYE

N.S.Ostapenko, O.N.Neroda, A.F.Mironyuk

On basis of large-scaled sampling (500 ± 100 kg) authors conducted the complex studying of materials from gold placers and its terraces. The high contents (33–330 mg/t) of residual free gold were determined in dumps. There are the most contents of attached gold and wide spectrum of contiguous minerals containing Ti, W, Sn, REE, Nb, Zr, Hf, Pt and platinooids which can be occasionally extracted as collective gravity concentrates.. The variants of rational use of ore placers' potential are being discussed.

Key words: placers, free gold, attached (gold), contiguous minerals. сульфиды (nirume).

На территории Приамурской золотоносной провинции [12] различные исследователи выделяют около 50 золотоносных узлов с множеством россыпей золота в каждом. Схемы размещения упоминаемых нами золотоносных узлов приведены в работах [3, 9]. За 150 лет, прошедших с момента открытия горным инженером П.П.Аносовым в регионе первых промышленных россыпей, большая часть из выявленных впоследствии, особенно крупных, уже отработана. В связи с этим в регионе в последние годы наметилась устойчивая тенденция снижения объемов добычи россыпного золота. Уже в ближайшем будущем пристальное внимание золотопромышленников может быть обращено на техногенные россыпи как вторичное сырье на золото. По этой причине нами в рамках тематики научно-исследовательских работ АмурКНИИ (с 2005 г. ИГиП) ДВО РАН проведены комплексное изучение металлоносности материала техногенных отвалов отработанных россыпей Тыгда-Улунгинского и Октябрьского

золотоносных узлов Северо-Бурейской металлогенической зоны и поиски вариантов рациональной переработки такого сложного сырья [7, 11].

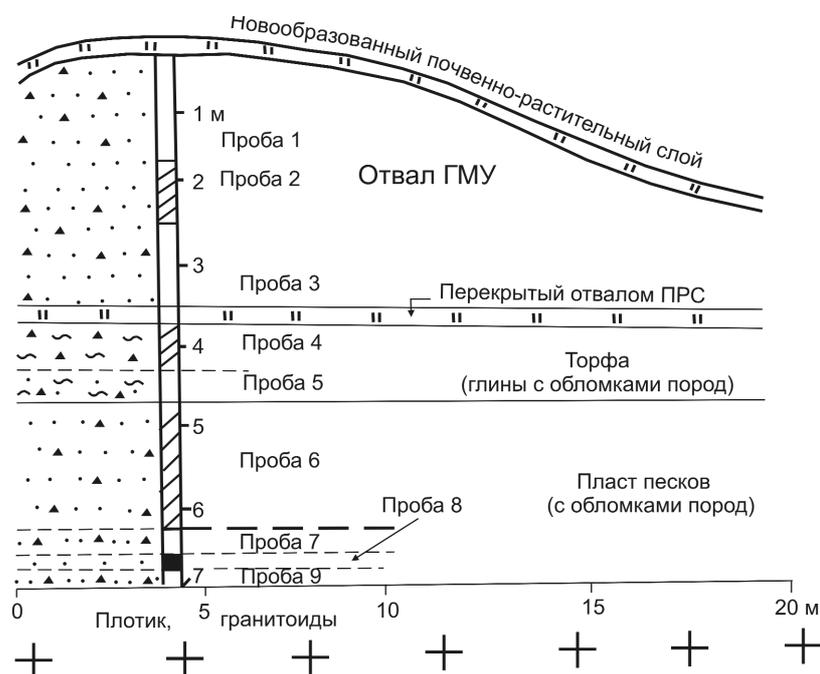
Методы исследований включали отбор крупнообъемных проб (500 ± 100 кг) в соответствии с работами [5, 6]. Проводилось деление их на фракции по крупности, а выделенных шлихов — по плотности и магнитным свойствам. Минералогическим анализом определялось свободное золото во фракциях с изучением его форм и крупности. Атомно-абсорбционным, нейтронно-активационным и пробирным методами анализа определялись содержания Au в «обеззолоченных»* продуктах обработки исследуемых проб. Выполнялось количественное минералогическое изучение шлихового комплекса минералов. Шлиховые концентраты из фракций крупнообъемных проб выделялись в лабораторных условиях на концентрационных столах СКО-0,5, а из более крупных проб и партий материала — на СКО-2 с контролем на СКО-0,5. Количественная

* В продуктах гравитационной переработки, из которых минералогически извлечено свободное золото.

оценка связанного, или невысвобожденного,** золота проводилась на основе стадийного измельчения всего материала (или части «обеззолоченных» минералогами фракций проб) до -1,0, -0,5 и -0,09 мм. Затем из них и шлиховых концентратов извлекалось золото. Атомно-абсорбционным анализом определялись его содержания в хвостах обогащения, в том числе и в илестых фракциях.

Полученные данные позволили сопоставить количества «исходного» свободного в россыпи, остаточного свободного в отвалах переработки и связанного золота в пересчете на 1 т исходной рыхлой горной массы россыпей и отходов их первичной переработки. Оценка потенциала неизвлеченного золота и сопутствующих ему ценных минералов в отвальной горной массе различных золотоносных узлов и россыпей проводилась на основе единого методического подхода, использования одного и того же лабораторного оборудования и имеющихся в институте академических методов. Для решения поставленных задач из техногенных россыпей Октябрьского и Тыгда-Улунгинского узлов в общей сложности отобрано >200 крупнообъемных проб. Значительно меньше проб отобрано из отходов обработки россыпей других узлов.

Свободное и невысвобожденное золото в исходной горной массе россыпей. Результаты комплексного изучения материала крупнообъемных проб, отобранных с левого борта разреза (рисунок), вскрывшего промышленную россыпь в среднем течении руч. Широкий (вершина россыпи р. Джелтулак-1), приведены в табл. 1. Слой торфов россыпи (мощность 1,35 м) представлен темно-бурыми вязкими глинами с некоторым количеством обломков различных пород. Свободное золото в них содержится на уровне 6–11 мг/т, составляя в среднем ~9 мг/т, и имеет крупность -0,05–0,1 мм. Освобожденная от свободного золота остаточная масса ма-



Расположение отобранных проб в восточной стенке разреза россыпи в среднем течении руч. Широкий Октябрьского золотоносного узла

териала проб содержит по данным атомно-абсорбционного анализа еще 165 мг/т связанного. Следовательно, доля микрометрового и нанометрового золота в торфах составляет 95%.

Подстилающий торфа пласт песков россыпи мощностью ~2,15 м характеризуется (см. табл. 1) нарастающей сверху вниз золотоносностью и содержит в среднем около 1 г/т свободного золота крупностью -0,05 +1,75 мм и 485 мг/т невысвобожденного золота различной размерности (от < 0,05 до 0,35 мм). Лишь часть его, в количестве 8% от исходного, относится к гравитационному классу и после измельчения хвостового продукта до -0,09 мм извлекается на концентрационном столе. Остальное невысвобожденное золото имеет размерность от 50 мкм до нанометров.

Перекрывающий разрез аллювия бортовой отвал отходов ГМУ мощностью 3,5 м также промышленно золотоносен (см. табл. 1). Всего в материале содержится в среднем 199,7 мг/т свободного золота или 546 мг/т общего золота. Доля невысвобожденного золота в техногенной горной массе составляет 63,4%. Если крупность остаточного свобод-

** Авторы отдадут себе отчет в том, что в невысвобожденное, или связанное, золото условно входит по данной методике исследования и часть отпарированного мелкого и тонкого золота крупностью <40–50 мкм, но полностью не извлекающегося в концентрат гравитационными методами, а также коллоидное, сорбированное на обломках пород и минералов [13].

1. Свободное и невысвобожденное золото в целиковой россыпи и отвале ее отработки на участке руч. Широкий Октябрьского золотоносного района

Номера проб	Интервал отбора в разрезе (сверху), м	Содержание Au, мг/т		Общая золотоносность материала, мг/т	Доля невысвобожденного Au, %	Размерность Au, мм	
		свободного в пробе исходного материала	невысвобожденного в хвостах СКО-0,5			в исходной пробе	в измельченных до -0,09 мм хвостах ее промывки на СКО-0,5
<i>Перекрывающий песчано-гравийный материал отвала отработки россыпи ГМУ</i>							
1	0–1,7	16,7	498	514,7	96,7	<0,05–0,3–0,7	Извлечено — 6,2 мг/т <0,05–0,4
2	1,7–2,7	525,0	400	925,0	43,2		
3	2,7–3,5	57,5	140	197,5	70,9		
Среднее	3,5	199,7	346	545,7	63,4	<0,05–0,3–0,7	Преобладает <0,05–0,1
<i>Торфа россыпи (глины, суглинки)</i>							
4	3,5–4,3	11,3	130	141,4	91,9	Пылевидное <0,05–0,1	
5	4,3–4,85	6,4	200	206,5	96,8		
Среднее	1,35	8,9	165	173,9	94,9	<0,05–0,1	
<i>Пески бортового целика россыпи</i>							
6	4,85–6,3	80	400	480	83,3	<0,05–1,75	Н/а
7+8	6,3–6,7	415	520	935	55,6		Извлечено 68,2 мг/т
9	6,7–7,0	1623	450	2073	21,7		Извлечено 51,7 мг/т
Среднее	2,15	1019	485	1504	32,0	<0,05–1,75	<0,05–0,35

Примечание. В табл. 1–4 и 6 в расчетах содержаний Au и других минералов использованы результаты количественных минералогических анализов (исполнители Н.С.Санлиевич, Л.И.Козак, Л.И.Рогоulina, Е.Н.Воропаева), в табл. 1 и 2 — также атомно-абсорбционных анализов лабораторий АмурКНИИ; Н/а — нет анализа.

ного золота в ней варьирует от <0,05 до 0,7 мм, то после измельчения хвостов ее перебива до -0,09 мм вариации крупности дополнительно высвобожденного золота значительно уже, а именно <0,05–0,4 мм с преобладанием классов <0,05–0,1 мм. Дополнительное извлечение гравитационного золота из измельченного материала легкой фракции этих проб от количества невысвобождаемого составило 1,8%. Следовательно, остальное невысвобожденное золото в основном имеет крупность от 50 мкм до нанометровых классов. Из сопоставления данных по пескам целика россыпи и материалу отвала отходов ГМУ вытекает, что соотношения свободного и невысвобожденного золота в них противоположные. Однако если считать, что в промышленных россыпях содержания учитываемого гравитационно извлекаемого свободного золота в среднем обычно не превышают 200–300 мг/т, то соотношения свободного и невысвобожденного золота в них будут близкими к единице.

Соотношение свободного и невысвобожденного золота в горной массе отвалов ГМУ. В

табл. 2 приведены результаты исследований золотоносности отходов россыпей по ряду водотоков обоих золотоносных узлов. Во всех изученных отвалах песчано-гравийного материала отработанных ГМУ россыпей Октябрьского узла установлены высокие содержания свободного золота различных гравитационных классов, в том числе тонкого (0,1–0,05 мм), не улавливаемого шлюзовыми промприборами. В остаточном свободном золоте отвальных эфелей преобладает класс <0,5 мм (90%), в том числе <0,25 мм (до 80%) [7]. Содержания остаточного свободного золота в пробах варьируют от 33 до 350 мг/т, составляя в среднем по различным водотокам 90–149 мг/т. Еще менее высокое извлечение и, соответственно, более высокие потери свободного золота, судя по полученным нами данным (см. табл. 2), были при отработке ГМУ россыпей Тыгда-Улунгинского узла.

Уместно заметить, что значительные потери свободного золота при отработке россыпей драгами и ГМУ характерны для всех золотодобывающих регионов. Так, для отработанных месторождений

2. Соотношение свободного и невысвобожденного золота в отвалах золотодобычи ГМУ Октябрьского и Тыгда-Улунгинского золотоносных узлов Приамурья

Водоток, номер отвала ГМУ	Число проб, шт.	Содержание химически чистого Au в горной массе отвала, г/т			Доля невысвобо- жденного Au, % от общего
		свободного	невысвобо- женного	общего	
<i>Октябрьский золотоносный узел</i>					
Широкий	13	0,149	0,270	0,419	64,4
Увальный	11	0,090	0,440	0,530	83,0
Зеленый	2	0,087	0,060	0,147	40,8
Вахромеевский	2	0,033	0,114	0,147	77,5
<i>Тыгда-Улунгинский золотоносный узел</i>					
пос. Апрельский, отвал 9	5	0,277	0,179	0,456	39,3
пос. Апрельский, отвал 5 (отходы переработки старательской артели «Авангард»)	5	0,212	0,314	0,526	60,0
пос. Пионер, отвал 13	1	0,113	0,526	0,629	83,6

Сибири это отмечали В.А.Обручев [10] и В.А.Макаров [2]. Такого же порядка потери свободного золота, причем различной его крупности, свойственны, по нашим данным [7], и промышленным центробежным концентраторам СЦВ-12,5, а также фирмы Кнелсон [2] и, видимо, другим. Высокие содержания свободного золота в отвалах ГМУ Октябрьского узла, помимо нас, отмечали Р.А.Амосов с коллегами [1], а в дражных отвалах подтверждены оценочными работами ОАО «Прииск Хэргу» на отработанных россыпях Верхнеселемджинского золотоносного района Приамурья.

Поскольку более крупное золото при первичной переработке золотоносного аллювия ГМУ уже извлечено, для всех изученных нами отвалов песчано-гравийного материала установлено значительное преобладание невысвобожденного золота над остаточным свободным. Суммарная золотоносность материала отходов обоих узлов (см. табл. 2), включающая остаточное свободное и невысвобожденное золото, довольно внушительна и составляет преимущественно 300–600 мг/т. Доля невысвобожденного золота всех классов крупности в различных отвалах составляет 41–83% от общего его содержания (см. табл. 2).

Часть связанного золота находится в минералах и обломках пород в виде коллоидных частиц, сорбированных на их поверхности. Такое золото экспериментальным выщелачиванием растворами соляной и уксусной кислот установлено в пробах всех изучавшихся минералов россыпей [13] — кварца, полевых шпатов, магнетита, ильменита, циркона, амфиболов, гранатов. Содержание легко выщелачиваемого сорбированного золота на по-

верхности минералов варьирует от десятков до 300 мг/т минерала [13].

Сопутствующие золоту минералы в россыпях. Состав шлиховых комплексов россыпей различных узлов (табл. 3) определялся по результатам количественных минералогических анализов шлихов, полученных нами при лабораторном гравитационном обогащении на СКО-0,5 материала крупнообъемных проб из отходов шлихообогажительных участков (ШОУ) золотодобывающих предприятий или из бортов разрезов и отвалов отработанных россыпей.

Сопоставление шлиховых комплексов золотоносных узлов проведено на основе минералогических анализов значительного числа проб, что повышает достоверность сделанных выводов. Методически такое сопоставление осуществлялось путем расчета в пробе массы каждого минерала, имеющего плотность >3,1–3,5 г/см³ и накапливающегося в магнитной, электромагнитной или тяжелой немагнитной фракциях. Определялась его процентная доля от общей массы тяжелых минералов и строились концентрационные ряды (см. табл. 3). Сопоставление проведено в основном по отходам (хвостам) ШОУ предприятий и старательских артелей и в ряде случаев по материалу из отвалов обработки. Данные по минералогическому составу концентратов также учтены нами при оценках возможного накопления некоторых других полезных минералов при достижении высокой степени гравитационного обогащения исходного материала (см. табл. 3 — последняя колонка).

Минеральные спектры россыпей одного узла обычно выдержаны, что можно объяснить сход-

3. Шлифовые минеральные комплексы россышей золотоносных узлов Приамурья по результатам изучения крупнообъемных проб

Золотоносные узлы	Число проб, шт.	Ряды накопления минералов	Возможность накопления в гравитационных концентратах других полезных компонентов
<i>Отходы (хвосты) илихобобашителыных установок артели и приисков</i>			
Дамбукинский	10	Магнетит 51,0–ильменит 30,8–гранат 13,1–циркон 4,1–пирит 0,8–золото–сперриллит	Шеелит
Чаганский	4	Пирит 43,6–пирит 28,5–ильменит 11,2–циркон 10,6–магнетит 3,0–гранат 2,7–галенит 0,27–золото	Монацит, вольфрамит, касситерит, киноварь
Улуглинский	2	Магнетит 87,0–гематит 1,9–ильменит 1,5–циркон 1,5–пирит 0,35–золото	
Игакский	5	Магнетит 51,0– пирит 35,0–шеелит 2,5–галенит 1,6–рутил 0,6–циркон 0,6–золото	
Нижне-Майский	11	Магнетит 25,0–галенит 22,0– пирит (арсенопирит) 9,5–оксиды Fe+Mn 9,0–циркон 3,2–монацит 2,67–касситерит 0,9–колумбит, ферросонит 0,44–золото	
Бысенский, р. Синкан	5	Ильменит 62,0–магнетит 34,0–ферросонит 2,2–касситерит 1,0–циркон 0,84–шеелит 0,11–висмутит 0,05–сфен 0,02–золото	Колумбит, бисмутит, галенит, киноварь, сперриллит
Харгинский	10	Магнетит 96,0–гематит 0,7–пирит 0,23–касситерит 0,1–шеелит 0,07–золото	Арсенопирит, циркон
Сагуро-Семертакский	3	Магнетит–гранат–пирит–циркон–ильменит–золото	Шеелит, касситерит
Софийский	10	Магнетит 59,5–гранат 17,9–касситерит 6,0–ильменит 5,0–сфен 3,8–гематит 2,4–рутил 1,9–пирит 0,3–золото	
<i>Пробы золотоносного аллювия и эфелей отвалов обработки россыпей</i>			
Яненский, отвалы	4	Магнетит 86,0– гранат 8,3– пирит 4,0–касситерит 0,43–ильменит 0,4–золото	
Октябрьский, отвалы	30	Ильменит 62,7–магнетит 34,7–циркон 1,2–апатит 0,5–монацит 0,3–шеелит 0,2–касситерит 0,2–золото–сперриллит	
Симичинский руч. Гнилой, аллювий	3	Магнетит 40,0– пирит 27,0–сидерит 9,0–барит 7,0–ильменит 4,6–циркон 1,8–золото	
Сутарский, отвалы	2	Ильменит 55,0–гранат 24,0–монацит 5,0–сфен 4,6–циркон 4,0–апатит 0,5–касситерит 0,1–золото	

Примечание. Цифровой индекс минерала показывает его относительную долю (%) в илиховом комплексе. Жирным шрифтом выделены ценные минералы — спутники золота.

4. Содержания (г/т) попутных минералов в песках россыпей, отвалах от их переработки ГМУ и коллективных концентратах, выделенных по отсадочно-концентрационной технологии (Октябрьский золотоносный узел, руч. Широкий)

Минералы	Материал крупнообъемных проб, переработанный на СКО-0,5				
	Ф-22282, 331 кг пески россыпи	Материал отвалов ГМУ (среднее из четырех проб)	Коллективные концентраты от переработки материала отвалов		
			64 т	240 т	86 т
			При среднем выходе концентрата из 1 т		
			11 кг (Ф-22262)	2 кг (Ф-22285)	11,2 кг (Ф-14111)
Магнетит	79	74	8251	12 948	13 000
Ильменит	169	332	41 463	53 281	12 000
Гранат	374	1114	25 636	38 848	32 900
Турмалин	48	85	3453	1196	11 000
Циркон	13,6	27	1898	4413	2300
Шеелит	4,5	МВ	МВ	76	МВ
Сперрилит	Знаки	Знаки	+	+	+
Золото свободное	0,200	0,060	4,39	27,06	4,56

Примечание. Самородное золото пересчитано на химически чистое; + — минерал присутствует в количестве до 1 г/т; МВ — малый вес (~10 г/т).

ством составов пород геологического субстрата и проявленной рудной минерализации, так как источник формирования последней на ограниченной площади, скорее всего, был единым. Очевидно, были сходными и физико-химические условия рудообразования на близких глубинах.

Минеральные комплексы россыпных узлов существенно различаются по составу и величине накопленных минералов (см. табл. 3). Чаще всего минеральные комплексы обогащены магнетитом (Дамбукинский, Ясенский, Улунгинский, Нижне-Майский, Симичинский, Харгинский, Сагуро-Семертакский, Софийский узлы). Он составляет >50% массы учитываемого комплекса минералов повышенной плотности. Для нескольких узлов характерно преобладание в шлиховом комплексе ильменита (Октябрьский, Быссинский и Сутарский узлы).

В большинстве золотоносных узлов золоту также сопутствуют шеелит и касситерит. Благодаря высокой плотности и устойчивости эти минералы накапливаются в аллювии, хорошо концентрируются в гравитационном обогатительном процессе при отработке россыпей и лабораторной переработке проб.

Сульфиды присутствуют в том или ином количестве в шлиховых комплексах всех золотоносных узлов, но в некоторых их доля повышена. Так, в Чагоянском золотоносном узле на первое место по накоплению в шлихах выходит пирит (43,6% от шлихового комплекса). В Симичинском узле с известной убогосульфидной золоторудной минерализацией пирит по степени накопления занимает вторую позицию (27% от массы шлихового комплекса)

после магнетита. Накопление сидерита и барита в шлихах подчеркивает очевидное присутствие в геологически недостаточно изученном Прогнозном рудном поле этого узла, наряду с кварцевыми, кварц-карбонатных жил. В Нижне-Майском россыпном узле шлиховой комплекс обогащен галенитом и пиритом (соответственно до 22 и 9,5%). Это коррелируется с находками на территории данного узла отдельных проявлений полиметаллической минерализации.

Полученные обобщенные оценки шлиховых комплексов некоторых золотоносных узлов региона свидетельствуют о том, что горная масса золотоносных россыпей содержит не только золото, но и ряд других полезных минералов, которые можно извлекать при гравитационном обогащении исходных золотоносных песков или отходов обогащения. При общем невысоком содержании ряда сопутствующих золоту минералов (исключая магнетит, а также гранат в россыпях на площадях, сложенных метаморфическими породами) в исходных песках и материале отвалов в коллективных концентратах их содержания уже существенны (табл. 4). Такие тяжелые минералы, как циркон и ильменит, концентрируются до n кг/т или $n \cdot 10$ кг/т концентрата соответственно. В концентратах из россыпей различных узлов накапливается существенное количество минералов из руд и метасоматитов — турмалин, пирит, галенит, вольфрамит, шеелит, касситерит, сперрилит, акцессории базитов (хромит) и гранитоидов (ксенотин, монацит, фергусонит, колумбит). В них содержатся Ti, Cr, TR, Zr, Nb, Ga, Sn, W, Pt и платиноиды (табл. 5). С

**5. Содержания (г/т) сопутствующих золоту химических элементов
в коллективных концентратах, извлеченных отсадочно-концентрационным
способом из гале-эфельного отвала 13 на участке Широкий
Октябрьского золотоносного узла**

Элементы	Крупнообъемные пробы							Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	
TR (сумма)	300,2	320,7	186	252,8	342,1	194	226,0	260,0
Ta	77,0	49,7	68,3	50,0	84,5	136,4	28,6	71,0
Zr	4830	4873	6700	5722	6010	5022	6665	6663
Hf	25	60,3	51,7	56,4	38,0	68,5	42,3	49,0
W	43,7	86,1	54,5	109,0	82,0	37,6	121,0	76,0
Se	170,2	284,4	81,0	142,2	377,3	353,0	148,0	222,0
Cr	523,0	103,0	78,8	107,6	108,3	99,0	118,6	163,0
Ir	1,6	1,8	1,1	1,1	1,3	1,1	1,7	1,4
Ru	—	—	36,5	—	37,6	42,5	23,2	20,0
Te	0,6	3,5	1,1	1,8	1,6	2,7	2,0	1,9

Примечание. Масса каждой пробы концентратов 700–800 кг, а суммарная — ~5 т; нейтронно-активационный анализ (А.А.Лукичев, АмурКНИИ ДВО РАН). В пробах присутствуют также Os, Pt, Ag, их содержания не определялись.

увеличением степени обогащения отходов (с понижением выхода серого шлиха от 10 до 2 кг/т) содержания полезных тяжелых минералов (ильменита, циркона), а также магнетита и граната возрастают незначительно, т.е. происходит их интенсивный снос вместе с легкой фракцией (см. табл. 4). Поэтому при переработке минерального сырья следует увеличить выход коллективного шлиха до 10–12 кг из 1 т материала. Это обеспечивает более полный выход в коллективный концентрат свободного золота и сопутствующих минералов. Промежуточные продукты (коллективные концентраты) от обогащения золотоносных песков таких россыпей и песчано-гравийно-галечного материала отвалов могут рассматриваться как комплексные руды, содержащие золото, серебро, платиноиды и отмеченные выше металлы.

Данные о составах шлиховых комплексов имеют и поисковое значение. Так, присутствие в шлиховом комплексе Нижне-Майского узла высоких концентраций галенита и пирита свидетельствует о возможности выявления на его территории золото-полиметаллической минерализации. Повышенные количества турмалина в аллювии и материале отвалов отработанной россыпи по руч. Широкий Октябрьского золотоносного узла послужили обоснованием возможности обнаружения в его бассейне нового золото-турмалинового типа минерализации [11].

Результаты экспериментальной переработки материала отвалов отработанных россыпей с получением коллективных концентратов. Цель такой переработки состояла в поиске технологических решений для более полного извлечения свободного золота, а также некоторой части еще не вы-

свобожденного золота и других полезных минералов. При обогащении материала отвалов отработанных россыпей Тыгда-Улунгинского узла нами были испытаны шлюзовые промприборы, в том числе в варианте с подшлюзками и учащенным сполоском, центробежные концентраторы, концентратор-приставка магнитофлокуляционная (КПМФ), отсадочные машины и концентрационные столы [7]. Лучшие результаты по извлечению свободного остаточного золота показали концентраторные столы и отса-

дочная машина. Поэтому для реализации намеченной цели использовались инерционный грохот ГИЛ-32 для мокрой ситовки материала, отсадочная машина МОД-3 и концентраторные столы СКО-7,5, а на доводке коллективных концентратов — столы меньших типоразмеров. На участке руч. Широкий в Октябрьском узле нами проведено 12 экспериментальных промывок отвального материала в различных режимах настройки агрегатов, в процессе которых было переработано $n \cdot 1000 \text{ м}^3$ горной массы. Из песчано-гравийного материала отвала 13 с невысоким содержанием свободного золота (в среднем $\sim 90 \text{ мг/м}^3$) таким комплексом устройств достигнуто почти полное его извлечение в коллективный концентрат (в среднем на уровне 94,4%). Это значительно выше возможностей шлюзового способа переработки. В полученных коллективных концентратах свободное золото преобладает над невысвобожденным, а содержания его составляют 2–5 г/т и более при оптимальном выходе концентрата из 1 т переработанной массы 10–12 кг (см. табл. 4).

В дальнейшем в оптимальном режиме настроек указанных обогащительных устройств переработано еще 28 300 м^3 материала этого же отвала для того, чтобы оценить возможность выделения в коллективный концентрат невысвобожденного золота и сопутствующих минералов. Установлено (табл. 6), что, помимо отмеченного эффективного извлечения свободного золота, применяемая нами схема переработки материала отвалов с получением коллективных концентратов и их переработки на концентрационных столах с последующим измельчением и дополнительным перемином легких

6. Результаты опытной переработки на концентрационных столах крупных партий коллективных гравитационных концентратов по схеме прямого их перемиыва с дополнительным отделением золота из измельченного материала хвостов (пересчет на химически чистое Au)

Номер партии концентрата	Масса, кг	Входное содержание свободного Au, г/т	Извлечено свободного Au прямым перемиывом, г	Дополнительно извлечено высвобожденного связанного золота после измельчения хвостов			
				Первый перемиыв, г	Второй перемиыв, г	Всего извлечено, г	Доля от остаточного свободного, %
<i>Переработка с измельчением материала хвостов до -1,0 мм</i>							
Ф-97303	13 800	6,3	86,78	13,64	–	13,64	15,72
Ф-97319	8000	5,4	42,99	4,42	–	4,42	10,28
Среднее							13,0
<i>Переработка с измельчением материала хвостов до -0,5 мм</i>							
Ф-10612*	4030	11,1	44,356	12,603	0,234	12,834	28,94
Ф-97302	2500	17,0	42,40	15,04	–	15,04	35,47
Среднее							32,2
<i>Переработка с измельчением материала хвостов до -0,09 мм</i>							
Ф-14111-6	966	4,6	4,555	1,500	–	1,500	32,93

* Переработана на концентрационном столе 30А-КЦМ-1, остальные на СКО-2.

фракций позволяет извлечь из горной массы дополнительное количество высвобожденного золота — до 10–35% от количества извлеченного остаточного свободного. Гравитационное извлечение высвобождаемого связанного золота растет с увеличением степени измельчения материала хвостов от -1,0 до -0,09 мм (см. табл. 6). Однако в нем остается еще около $\frac{3}{4}$ его количества крупностью 50 мкм– n нм, не извлекаемого гравитационными методами.

Потери золота. В связи с рассматриваемым альтернативным безшлюзовым подходом к обработке техногенных (и обычных) россыпей целесообразно оценить возможные потери золота в отвальных продуктах. Направляемые в отвал крупные фракции аллювия (представленные обломками гранитоидов, песчаников, сланцев и других слагающих территорию пород) обычно слабо золотосны. Особенно это характерно для проб, отобранных на некотором удалении от эродированного рудного коренного источника или головки россыпи вниз по водотоку. В обломках пород золото содержится в редких вкрапленных сульфидах, лимоните и в виде осевших на поверхность обломков его коллоидных частиц (вторичное золото). В редких обломках кварца и метасоматитов содержания Au обычно не превышают 0,1–1 г/т. Вблизи коренных источников в обломках фракции -10+5 мм они увеличиваются в среднем до 0,4–0,7 г/т Au.

Фракции -3 мм (или -5) полностью проходят цикл отсадки и обогащения (выделения в концентрат) тяжелых минералов и их сростков. Потери свободного гравитационного золота и других тяже-

лых минералов в хвостах СКО-7,5 (~7–10 мг/т) при отмеченном оптимальном выходе коллективного концентрата минимальны. Илистая фракция в материале отвалов составляет в среднем 3,6%. Средние содержания золота в ней по большому количеству проб оцениваются в 150–200 мг/т, а доля золота этой фракции в 1 т отвального материала невелика — ~2% от его общего количества.

Возможные варианты комплексной переработки коллективных гравитационных концентратов. В работе [8] нами обсуждались три возможных варианта комплексной переработки материала коллективных концентратов из россыпей и отвалов их предыдущей переработки — гравитационный, гидрометаллургический и пирометаллургический. Гравитационный (по разветвленной схеме гравитационного обогащения на концентрационных столах с последующим измельчением и перемиывом хвостов в замкнутой системе водооборота) обеспечивает, как показано выше, полное извлечение свободного остаточного и дополнительно до 20–35% от этого количества высвобожденного при измельчении хвостов связанного золота. Остальное связанное золото и сопутствующие минералы остаются в отходах обогащения (в том числе в возникающей при операциях измельчения иловой фракции, улавливаемой в отстойниках), которые являются комплексным сырьем для извлечения других ценных металлов и остаточного золота.

Гидрометаллургический способ переработки коллективных концентратов (кучное, кюветное или чановое выщелачивание) не включает операций измельчения и поэтому нет потерь золота с

илами. Извлечение золота зависит от достигнутой степени его выщелачивания из концентратов. Сопутствующие минералы полностью сохраняются в отходах выщелачивания для дальнейшей утилизации металлов.

Пирометаллургическая переработка коллективного концентрата состоит в использовании его в качестве высококремнистой ($60\pm 3\%$) присадки при плавке медных руд для очистки черновой меди от железа. Штейн и черновая медь являются прекрасными коллекторами драгоценных и других металлов. При рафинировании черновой меди эти металлы переходят в шламы и могут быть выделены из них по существующим технологиям.

Первые два варианта могут осуществляться на специально организованных «кустовых» золото-извлекательных фабриках при массовой отработке сближенных техногенных россыпей одного или нескольких соседних золотоносных узлов с минимальными затратами на транспортировку концентратов.

Уместно заострить внимание на проблемах более полной оценки ресурсов свободного и связанного золота россыпей, потерь сопутствующих компонентов и рекультивации отработанных полигонов. Количество связанного золота не зависит от богатства россыпи свободным золотом [4] и является достаточно высоким (до 300–500 мг/т). Поэтому промышленное значение в будущем могут иметь и не обрабатываемые, бедные свободным золотом мелкие и крупные россыпи. Техногенные же россыпи должны оцениваться на большую ширину, чем участки предыдущих отработок в рамках высоких кондиций свободного золота. В связи с тем что в головках отработанных россыпей установлены повышенные содержания не высвобожденного золота, полная оценка ресурсов техногенной россыпи должна включать также интервалы долины водотока выше отработок (охват зоны сноса золота, обломков руды и золотоносных метасоматитов от коренного источника и сопровождающих его рудопроявлений с преобладанием еще не высвобожденного золота) и ниже их (предполагаемый шлейф выноса тонких частиц золота). Оценка и разведка россыпей в соответствии с работой [5] должна производиться посредством проходки поперечных траншей и линий шурфов, обеспечивающих отбор крупнообъемных проб, и применения малых концентрационных столов для корректного определения содержаний свободного и связанного золота [7]. Комплексная переработка золотоносного материала россыпей предусматривает оценку потенциала сопутствующих металлов на основе количественных минералогических, химических и других

анализов в контурах, ограниченных по экономически приемлемым содержаниям общего золота. Поскольку основные ресурсы сопутствующих ценных минералов сосредоточены главным образом во фракциях материала -1 мм, а плотность лежит в пределах 4–7 г/см³, их коэффициент концентрации ниже, чем у золота. Поэтому извлечение таких минералов не превышает 70–80% от исходного даже при оптимальном выходе серого шлиха из 1 т переработанной горной массы.

Таким образом, рассматриваемый подход к оценке рудного потенциала и отработке техногенных россыпей золота, основанный на выделении и комплексной переработке коллективных концентратов, не сопровождается существенными потерями свободного золота и, что очень важно, позволяет извлекать значительную часть связанного (до 20–35% от количества извлеченного свободного остаточного) и платиноиды. С отвальными хвостами все же теряется еще существенная часть связанного золота и ~30% полезных сопутствующих минералов.

После проведенной отработки россыпей с применением шлюзовых обогатительных устройств из-за больших потерь свободного, всего связанного золота и полной потери всех сопутствующих полезных минералов рекультивация полигонов нецелесообразна. А реализованный предложенным способом рудный потенциал россыпей позволит, наконец, приступить к полной рекультивации нарушенных территорий.

Основные выводы проделанной работы следующие.

Комплексная оценка металлоносности первичных и техногенных россыпей должна проводиться на основе отбора и изучения материала достаточного количества крупнообъемных проб (~400–600 кг), что дает возможность корректно определить (по изложенной здесь и в работах [5, 6] методике) содержания свободного и связанного золота и рудный потенциал сопутствующих минералов.

При ориентации на новые технологии отработки потенциал золота россыпей, разведанных по традиционным методикам, учитывающим только гравитационное золото (в основном классы $>0,2$ мм), в соответствии с результатами наших исследований может быть, как минимум, удвоен за счет присутствия в песках примерно такого же количества связанного золота и возможного увеличения их параметров (ширины и длины) с учетом суммарного его содержания.

Переработка комплексного сырья техногенных россыпей должна производиться с наиболее полным извлечением в коллективные концентраты

всех тяжелых минералов и их сростков (без существенных потерь мелких классов) с извлечением из них всех полезных металлов на последующих этапах их переработки способами, рассмотренными нами в работе [11]. Традиционные шлюзовые технологии и промывочные устройства из-за больших потерь свободного и полной потери связанного золота и всех сопутствующих полезных компонентов для этого совершенно не пригодны. Наш опыт свидетельствует о перспективности ориентации отработки техногенных россыпей на сочетание отсадочных машин и высокопроизводительных концентраторных столов [7].

В организационном плане комплексную переработку коллективных концентратов целесообразно проводить на специально организованных «кустовых» золотоизвлекательных обогатительных фабриках, обеспечивающих переработку промпродуктов всех золотодобывающих предприятий, отработывающих россыпи одного или нескольких соседних золотоносных узлов. После полного извлечения свободного и связанного золота, остаточный продукт с другими полезными минералами целесообразно дообогатить на золотоизвлекательных фабриках, а полученный богатый рудный концентрат отправлять на металлургическое предприятие для извлечения других сопутствующих металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов Р.А., Парий А.С., Васин С.Л., Щегольков Ю.В. Самородное золото из техногенных россыпей Октябрьского узла (Амурская область) // Руды и металлы. 1997. № 4. С. 56–57.
2. Макаров В.А. Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото. – Красноярск, 2006.
3. Мельников В.Д., Полеванов В.П. Золотоносные районы и узлы Амурской области // Геология и минеральные ресурсы Амурской области. Благовещенск, 1995. С. 121–127.
4. Миронюк А.Ф., Моисеенко В.Г., Остапенко Н.С. Свободное и стабилизированное золото в россыпях Верхнего Приамурья // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России и новые технологии переработки благороднометалльного сырья. Благовещенск, 2005. С. 243–247.
5. Моисеенко В.Г. Особенности формирования полигенных россыпей золота и методы их оценки. – Хабаровск: АмурКНИИ ДВО РАН, 1977.
6. Моисеенко В.Г., Миронюк А.Ф., Остапенко Н.С. О целесообразности крупнообъемного опробования при оценке запасов золота в россыпях и отвалах их переработки // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Красноярск, 2004. С. 32–36.
7. Моисеенко В.Г., Остапенко Н.С., Миронюк А.Ф. Нетрадиционный подход к отработке техногенных золотоносных россыпей // Горный журнал. 2006. № 4. С. 66–68.
8. Некоторые результаты минералого-геохимических исследований в Октябрьском золотоносном узле Верхнего Приамурья / Н.С.Остапенко, А.Ф.Миронюк, О.Н.Нерода и др. // Вестн. АмурНЦ ДВО РАН. Сер. 2. Физика, химия, биология, материаловедение. Вып.4. Благовещенск, 2003. С. 52–57.
9. Неронский Г.И. Типоморфизм золота месторождений Приамурья. – Благовещенск: АмурНЦ ДВО РАН, 1998.
10. Обручев В.А. Запасы золота в отвалах приисков и возможность их извлечения // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1942. № 3. С. 48–56.
11. Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г., Миронюк А.Ф. Альтернативный технологический подход к отработке россыпных месторождений золота // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Вып. 4. Мат-лы 4-й Международной научно-технической конференции 11–26 апреля 2006 г. Красноярск, 2006. С. 277–282.
12. Приамурская золоторудная провинция / В.А.Степанов, А.В.Мельников, А.С.Вах и др. – Благовещенск: Амур. гос. университет, 2008.
13. Содержание золота в минералах золотоносных россыпей Приамурья / А.Ф.Миронюк, В.Г.Моисеенко, Е.Н.Воропаева и др. // Докл. АН. 2005. Т. 405. № 5. С. 652–654.

УДК 622.772

© П.А.Заулочный, 2010

ЭФФЕКТИВНАЯ ДВУХСТАДИАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БАКТЕРИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ УПОРНОГО ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО СЫРЬЯ

П.А.Заулочный (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

На примере концентрата Майского месторождения разработана двухстадийная технология бактериального окисления с различным температурным режимом: 34–36°C на первой стадии и 38–42°C на второй. В результате двухстадийного бактериального выщелачивания в течение 90 ч достигается высокая степень окисления сульфидных минералов: 98,7% арсенопирита, 87,28% пирита. Извлечение золота в процессе сорбционного цианирования кека бактериального окисления составляет 98% при содержании Au в хвостах цианирования 2,4 г/т.

Ключевые слова: кинетика биоокисления, упорный золотосодержащий концентрат, ассоциация микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии.

Заулочный Павел Александрович, zaulochny@rambler.ru

THE TWO-STAGE BIOOXIDATION TECHNOLOGY FOR THE REFRACTORY GOLD-BEARING CONCENTRATES TREATMENT

P.A.Zaulochny

The two-stage biooxidation technology was developed for the refractory gold-bearing concentrate of Maiskoe deposit. At 1st stage the temperature must be 34–36°C, and on the 2nd stage — 38–42°C. The concentrate treatment by two-stage bioleaching technology allow to achieve the high oxidation rate of sulfide minerals: 98,7% of arsenopyrite, 87,3% of pyrite after 90 hours of biooxidation. The gold extraction by sorption cyanidation is 98%.

Key words: refractory gold-bearing sulfide concentrate, microorganism association including moderately thermophilic.

В настоящее время для вскрытия тонко-крупного в сульфиды золота используют методы окислительного обжига, автоклавного или бактериального выщелачивания [5, 6, 10]. При сравнении этих трех процессов выявляется ряд преимуществ биогидрометаллургической технологии: простота процесса и аппаратного оформления, отсутствие высоких температур, давления, вредных пыле- и газовыбросов, экологическая безопасность, низкие капитальные и эксплуатационные затраты, высокое извлечение золота [7]. Однако существенный ее недостаток — большая продолжительность процесса (пять и более суток) и недостаточно полное окисление одного из золотосодержащих сульфидов — пирита, которое составляет 45–60% в зависимости от вида сырья. Поэтому интенсификация процессов биоокисления является актуальной задачей.

Обзор литературных данных показывает, что в настоящее время интенсификация процессов бактериального окисления, в первую очередь, достигается при использовании ассоциации микроорганизмов различных видов и родов [9, 10].

В ЦНИГРИ был проведен комплекс исследований по переработке упорных золотосульфидных концентратов с использованием ассоциации микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии. На примере концентрата Майского месторождения показано [4, 8], что использование ассоциации микроорганизмов, включающей бактерии родов *Acidithiobacillus*, *Sulfobacillus*, *Leptospirillum* по сравне-

нию с монокультурой *Acidithiobacillus ferrooxidans*, позволяет снизить продолжительность бактериального окисления и увеличить степень окисления сульфидных минералов. Кинетические данные окисления основных золотосодержащих сульфидных минералов приведены на рис. 1.

Из полученных данных следует, что при использовании ассоциации микроорганизмов II, включая умеренно-термофильные бактерии, основная масса арсенопирита окисляется за 48 ч до 90,6%. При использовании монокультуры *Acidithiobacillus ferrooxidans* степень окисления составляет всего 78%. После 96 ч степень окисления арсенопирита составляет 98, 96,3 и 90,7% для ассоциации II, ассоциации I и монокультуры бактерий соответственно.

Окисление пирита при использовании монокультуры бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* проходит недостаточно эффективно. По прошествии 48 ч пирит окисляется только на 38,6%, при биоокислении ассоциацией II (кривая 3) — на 51,8%. После увеличения продолжительности процесса до 96 ч степень окисления пирита составляет 76,76 и 61,2% при использовании ассоциации II и монокультуры микроорганизмов соответственно. После 120 ч биовыщелачивания монокультурой *Acidithiobacillus ferrooxidans* степень окисления пирита увеличивается всего на 5% и составляет 66,2%. При использовании консорциума бактерий рода *Acidithiobacillus* и ассоциации II конечная степень окисления пирита составляет 75,9 и 83,86% соответственно.

Дальнейшая гидрометаллургическая переработка продуктов бактериального окисления монокультурой и ассоциацией микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии, показала, что извлечение золота во втором случае увеличивается с 94,6 до 95,7%. При этом происходит уменьшение продолжительности предварительной подготовки кеков бактериального окисления к сорбционному цианированию с 24 до 3 ч.

Из данных исследований можно сделать вывод о том, что для более интенсивного протекания бактериального окисления сульфидного золотосодержащего сырья необходимо обеспечить вовлечение в процесс консорциум микроорганизмов максимально различного родового разнообразия. Однако наличие микроорганизмов — необходимое, но не достаточное условие для эффективного биовыщелачивания перерабатываемого материала. Следует создать оптимальные условия для жизнедеятельности ассоциации микроорганизмов, что приведет к эффективному окислению сульфидных минералов. Формирование консорциума бактерий из микроорганизмов, отличающихся друг от друга как по фенотипическим свойствам, так и по генотипическим признакам ставит задачу исследования влияния технологических свойств на качественный и количественный состав ассоциации. В работе [1] обсуждены результаты изучения влияния температуры и pH среды на качественный состав ассоциации в процессе биоокисления упорного золотосодержащего сульфидного сырья. Проведенные в ЦНИГРИ исследования, совместно с сотрудниками ИНМИ РАН, показали, что: при температуре от 28 до 40°C образуется активная ассоциация микроорганизмов, состоящая из штаммов бактерий четырех родов (*Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Ferroplasma* и *Sulfobacillus*); при температуре 45°C — ассоциация микроорганизмов, включающая штаммы бактерий двух родов (*Ferroplasma* и *Sulfobacillus*); при температуре >45°C — только штаммы умеренно-термофильных и термофильных бактерий.

Изучение влияния pH на развитие клеток показало, что для активного окисления сульфидных минералов бактериями *Acidithiobacillus* необходимо поддерживать pH пульпы на уровне 2,0 для всех сульфидных минералов. Что касается умеренно-термофильных бактерий, то для достижения хороших показателей ведения процесса pH пульпы следует поддерживать на уровне 1,6–1,8.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение кинетики бактериального окисления сульфидных минералов ассоциацией микроорганизмов при различных температурных режимах. На примере концентрата Майского месторождения было по-

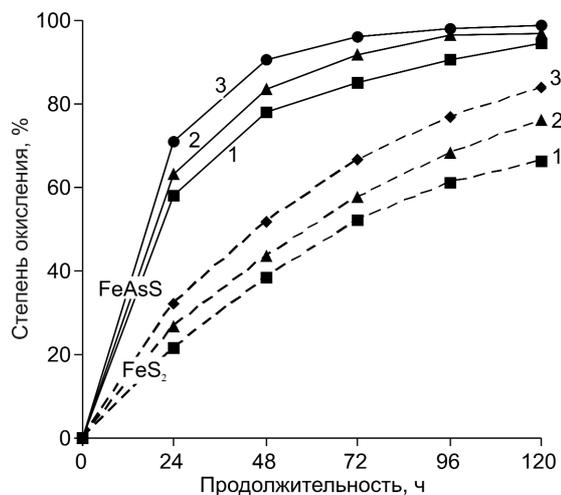


Рис. 1. Кинетика биоокисления основных сульфидных минералов при биогидрометаллургической переработке концентрата Майского месторождения:

1 — монокультурой *Acidithiobacillus ferrooxidans*, 2 — ассоциацией *Acidithiobacillus ferrooxidans*+*Acidithiobacillus thiooxidans* (ассоциация I), 3 — *Acidithiobacillus ferrooxidans*+*Acidithiobacillus thiooxidans*+*Sulfobacillus*+*Leptospirillum* (ассоциация II)

казано [2, 3], что наиболее интенсивно окисление арсенопирита протекает при температуре 34–36°C. По прошествии 48 ч степень окисления арсенопирита достигает 95% (данные не приводятся). В этих же работах имеются данные и по влиянию температуры процесса на биоокисление пирита концентрата Майского месторождения. Показано, что при повышении температуры с 32 до 38–42°C увеличивается константа окисления с 0,0119 ч⁻¹ до 0,0186 ч⁻¹, что обуславливает увеличение скорости окисления пирита в 1,74 раза. Кинетика бактериального окисления пирита при различных температурах ассоциацией микроорганизмов, включая умеренно-термофильные, представлена на рис. 2.

На основании вышеизложенных исследований разработана и апробирована двухстадийная технология бактериального окисления ассоциацией микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии, с гибким регулированием температурного режима. Объект исследований — упорный сульфидный концентрат, полученный при флотационном обогащении руды месторождения Майское. Основным ценным компонентом — золото в форме тонкой вкрапленности в сульфидах, содержание Au 98,0 г/т. Содержание сульфидных минералов составляет — арсенопирит 10,0, пирит 30,4%. Сорбционным цианированием концентрата крупностью 85–90% -0,074 м извлекается 11,9% Au, что свидетельствует об упорном характере изучаемого объекта.

Эксперименты по бактериальному выщелачиванию концентрата проводились на укрупненно-лабо-

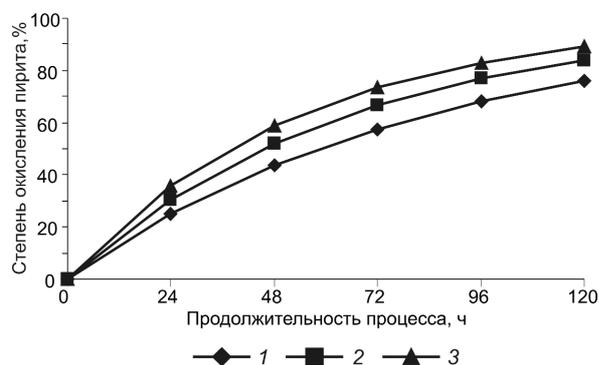


Рис. 2. Кинетика биоокисления пирита ассоциацией микроорганизмов при различных температурах в статическом режиме:

1 — 32°C; 2 — 34–36°C; 3 — 38–42°C

раторной установке непрерывного действия, которая полностью моделирует двухпоточную схему биопроцесса. Приготовление питания бактериального выщелачивания осуществлялось в аппарате типа контактный чан, где перерабатываемый флотоконцентрат смешивался с технической водой и раствором питательных солей в соотношении Т:Ж=1:5. Из контактного чана пульпа флотоконцентрата закачивалась в первичный реактор с помощью перистальтического насоса, а далее самотеком распределялась во вторичные реакторы. Из последнего реактора пульпа биоокисления поступала в конус-сгуститель.

Первичный и вторичные реакторы изготовлены из нержавеющей стали, имеют объем 4 и 2 л соответственно, снабжены механической лопастной мешалкой и патрубком для принудительной подачи воздуха. Подача воздуха во все реакторы осуществляется с помощью компрессора. Температура в реакторах поддерживается автоматически.

1. Основные физико-химические параметры пульпы в процессе двухстадиального бактериального выщелачивания концентрата Майского месторождения

Параметры	Стадия биоокисления				
	I		II		
Температура, °C	34–36		38–42		
Продолжительность, час	36	54	72	90	108
pH	2,02	1,72	1,7	1,68	1,65
Eh, мВ	720	730	740	760	780
Выход продукта биоокисления, %	89,4	86,6	82,8	76,7	75,7
Концентрация, г/л:					
Fe ³⁺	4,2	8,7	14,7	21,6	27,6
Fe ²⁺	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
As ⁵⁺	2,15	3,18	3,4	4,9	5,2
As ³⁺	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0
Активность биомассы по потреблению кислорода в пульпе, мкл/мл·мин	3,1	3,7	4,4	5,2	5,2

Один раз в сутки замерялись физико-химические параметры бактериального выщелачивания: pH раствора, ОВП, концентрации ионов Fe и As. По результатам стабильной работы установки бактериального окисления составлена сводная таблица физико-химических параметров пульпы двухстадиального процесса бактериального выщелачивания исследуемого концентрата (табл. 1).

Как видно из табл. 1, процессы бактериального окисления проходят очень интенсивно: кислотность пульпы по прошествии 54 ч снижается с 2,02 до 1,72, что косвенно свидетельствует об активном протекании окисления пирита, который характеризуется регенерацией серной кислоты. Далее по всем реакторам также наблюдается снижение pH, для поддержания которого на уровне не ниже 1,6 требовалось каждый день добавлять раствор 20% CaO. Стабилизация кислотности бактериального раствора на таком уровне объясняется тем, что данное значение pH попадает в интервал оптимальных для умеренно-термофильных бактерий *Sulfobacillus* и архей *Ferroplasma*.

Создание оптимальных условий жизнедеятельности бактерий приводит, соответственно, к увеличению скорости и степени окисления сульфидных золотосодержащих минералов. Это можно наблюдать по высокому и неуклонно растущему значению ОВП пульпы в процессе бактериального выщелачивания. В первичном реакторе значение данного параметра составляло 720 мВ, а к окончанию процесса биоокисления — 780 мВ.

Концентрация ионов Fe²⁺ и Fe³⁺ в растворах бактериального выщелачивания — важный показатель процесса биоокисления. В результате проведенных испытаний установлено, что в первом вторичном реакторе происходит полное окисление ионов Fe²⁺. Это говорит о высокой активности ассоциации микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии. Об эффективном протекании окислительных процессов свидетельствует и постоянное увеличение концентрации ионов Fe³⁺ в растворах: с 4,2 до 27,6 г/л к окончанию процесса биовыщелачивания.

Твердые продукты бактериального окисления анализировались на содержание сульфидных форм As, Fe, S (табл. 2). Из полученных данных следует, что процессы бактериального окисления протекают эффективно. Уже после 36 ч биовыщелачивания содержание сульфидной серы снижается с 18,42 до 9,91%. При этом сульфидных форм As и Fe содержится

2. Основной состав твердых продуктов биоокисления концентрата

Элемент	Продолжительность процесса, ч				
	36	54	72	96	120
As _{общ}	4,39	3,93	3,93	3,3	3,15
As _{сульфид}	0,42	0,30	0,16	0,08	0,06
Fe _{общ}	19,39	17,43	14,6	11,2	7,40
Fe _{сульфид}	8,77	6,28	4,29	2,35	1,24
S _{сульфид}	9,91	7,10	4,87	2,67	1,41
S ⁰	0,70	0,57	0,51	0,25	0,19

0,42 и 8,77% соответственно. К окончанию бактериального выщелачивания в кеках биоокисления остается 0,06 и 1,24% сульфидного мышьяка и железа соответственно. Содержание S⁰ по реакторам установки неизменно снижается с 0,7% в первичном реакторе до 0,19% в последнем.

По результатам исследований основного химического состава продуктов бактериального выщелачивания сделан расчет степеней окисления основных сульфидных золотосодержащих минералов — арсенопирита и пирита. Динамика окисления сульфидов в зависимости от продолжительности процесса (рис. 3) свидетельствует о том, что основное количество арсенопирита окисляется уже в первичном реакторе. Его степень окисления составляет 91,8%. Степень окисления пирита не столь высока и находится на уровне 46,6%. После 90 ч биовыщелачивания степень окисления арсенопирита и пирита составляет 98,6 и 87,28% соответственно.

На гидрометаллургические исследования по извлечению золота был направлен продукт после 90 ч бактериального окисления. По результатам сорбционного цианирования получены хвосты с содержанием Au 2,4 г/т. Извлечение золота из исходного концентрата составило 98% при выходе хвостов цианирования относительно кека биоокисления, равном 105,8%.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применения биогидрометаллургической технологии с использованием ассоциации микроорганизмов, включая умеренно-термофильные бактерии, для переработки упорных золотосодержащих концентратов. Данная технология рекомендуется для использования на золотодобывающих предприятиях России, осуществляющих отработку месторождений с упорными рудами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заулочный П.А.* Изучение влияния температуры и pH среды на формирование ассоциации микроорганизмов в процессе биоокисления упорного золотосодержащего сульфидного сырья // Мат-лы 4-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 6–9 ноября 2007 г. М., 2007. С. 210–213.

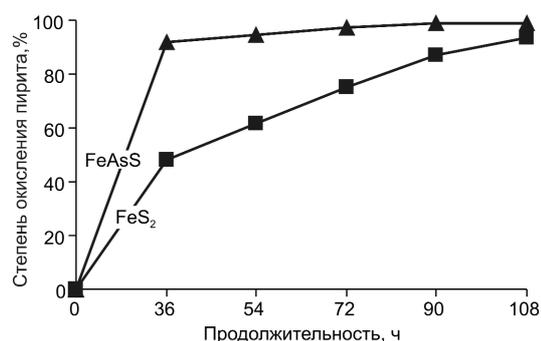


Рис. 3. Кинетика биоокисления основных золотосодержащих минералов (арсенопирита и пирита) при бактериальном выщелачивании концентрата Майского месторождения ассоциацией микроорганизмов с использованием двухстадийной технологии

2. *Заулочный П.А.* Кинетические закономерности биоокисления упорного золотосодержащего пирит-арсенопиритового концентрата с использованием ассоциации микроорганизмов // Мат-лы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 11–14 ноября 2008 г. М., 2008. С. 300–303.
3. *Заулочный П.А., Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Ким Д.Х.* Двухстадийное биоокисление упорного золотосульфидного концентрата // Пятый Московский международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития». М., 2009. Ч. 2. С. 326–327.
4. *Интенсификация биоокисления упорного золотосодержащего сырья с использованием ассоциации микроорганизмов, включая умеренно-термофильные / Г.В.Седельникова, Е.Е.Савари, Д.Х.Ким и др. // Четвертый Московский международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития». М., 2007. Ч. 2. С. 318.*
5. *Лодейщиков В.В.* Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. Т. 1. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999.
6. *Набойченко С.С., Шнейерсон Я.М., Калашикова М.И., Чугаев Л.В.* Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Т. 2. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009.
7. *Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Кондратьева Т.Ф.* Технология извлечения золота из упорных золотомышьяковых концентратов Албазинского месторождения с использованием бактерий // Горный журнал. 2005. № 1. С. 59–63.
8. *Biohydrometallurgical gold extraction from carbonaceous pyrite-arsenopyrite concentrate by the microorganisms including moderate thermophilic / G.V.Sedelnikova, E.E.Savari, D.H.Kim et al. // Proceedings of XXIV International Mineral Processing Congress. Science Press, 2008. P. 2846–2853.*
9. *Plumb J.J., Hawkes R.B., Franzmann P.D.* The Microbiology of Moderately Thermophilic and Transiently Thermophilic Ore Heaps // Biomining. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. P. 217–236.
10. *Van Aswegen P.C., Van Niekerk J., Olivier W.* The BIOX™ process for the treatment of refractory gold concentrate // Biomining. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. P. 1–35.

ДИСКУССИИ

УДК 553.411.06

© Б.Я.Вихтер, 2010

ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА, ПОИСКА И ОЦЕНКИ

Б.Я.Вихтер (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Предложена типизация золоторудных месторождений, учитывающая рудно-формационные и геолого-промышленные признаковые характеристики.

Ключевые слова: рудная формация, геолого-промышленный тип, поиски, разведка и оценка, месторождения золота.

Вихтер Борис Яковлевич, dnms@tsnigri.ru

GROUPING GOLD DEPOSITS FOR THEIR PROGNOSIS, EXPLORATION, AND EVALUATION

B.Y.Vikhter

Grouping of lode gold deposits is introduced that employs formative geological characteristics?environmental features and economic.

Key words: ore formation, economic geological type, exploration, deposits of gold.

В методических рекомендациях и руководствах, разработанных в последние годы и согласованных с Министерством природных ресурсов и экологии РФ, например в работе [6], предлагаются типовые прогнозно-поисковые комплексы и приемы количественной оценки прогнозных ресурсов золота для геолого-промышленных (рудно-формационных) типов месторождений. Приводятся раздельно геолого-промышленная и рудно-формационная типизации золоторудных месторождений. В этих руководствах под рудной формацией понимается «*группа месторождений и рудопроявлений однотипных как по элементному и минеральному составу руд, так и по геологической обстановке их нахождения, которая характеризуется определенной геологической формацией (либо сочетанием геологических формаций) и структурными условиями рудогенеза*». Исходя из этой формулировки определяющими признаками конкретной рудной формации являются элементный и (или) минеральный составы руд, рудоокружающая среда и геотектоническая позиция. В Российском металлогеническом словаре [7] указывается, что геолого-промышленный тип месторождения это «*рудно-формационный тип месторождения, по совокупности характеристик отвечающий современным требованиям горнодобывающей промышленности к минеральному сырью. В один геолого-промышленный тип входит группа месторождений, сходных по геотектонической позиции, связям с геологической формацией, химическому и ми-*

неральному составу, технологическим свойствам сырья, его экономической значимости, горно-техническим условиям разработки». Беря за основу, но несколько конкретизируя формулировку, можно считать, что *геолого-промышленный тип это группа месторождений определенного (определенных) полезного (полезных) компонента (компонентов), с близкими горно-техническими (морфология, мощность и условия залегания рудных тел) и вещественно-технологическими (минеральный состав, характер золота, текстура руд и др.) характеристиками*.

С учетом основных признаков, характеризующих месторождение как рудно-формационный и геолого-промышленный объект, предлагается типизация известных золоторудных месторождений (табл. 1), которую можно использовать прежде всего при прогнозе, поисках и оценке на золото перспективных территорий и участков.

Основные особенности вещественного состава руд каждой рудно-формационной группы месторождений отражены в их названии. Минералы и элементы, указанные в названии (мышьяк, теллур, серебро, сульфиды, полисульфиды, алюмосиликаты в сочетании с золотом), представляют собой дискриминантные признаки рудно-формационных групп. Золото-серебряная эпитеpmальная и золото-алюмосиликатная (скарновая) группы, как типы или рудные формации, выделяются практически во всех классификационных схемах с этими же названиями.

1. Типизация золоторудных месторождений

Признаковые характеристики рудных формаций или их семейств		Геолого-промышленный тип	Примеры месторождений	Основные (второстепенные) элементы руд	Признаковые характеристики		
Геотектоническая позиция	Рудоносные и (или) рудоветшающие породы (комплексы пород)				Сульфиды, %, минеральный состав руд	Au в рудах г/т	Окислительные преобразования пород
1	2	3	4	5	6	7	8
	<i>Золото-мышьяково-сульфидная рудно-формационная группа в терригенных, вулканогенно-терригенных, карбонатно-терригенных комплексах</i>						
Орогенно-складчатые пояса многоциклично-синклинального типа	Преимущественно алломосликатные породы	Золото-кварцевый жильных, жильно-прожилковых, штоковых руд	Бендино (Австралия), Чармитан, Мурнтау (Узбекистан), Советское, Ветренское (Россия)	Au, As (W, W), МПГ, В)	0,2–2, редко до 5–7; пирит, арсенопирит (шеслит, пирротин, сульфосоли В)	4–30	Гумбетовой и березитовой формаций со сменой от центра кварц-кальциатовых метасоматитов кварц-альбит-хлоритовыми и березитами
		Золото-сульфидно-кварцевый жильно-прожилковых, жильно-прожилково-вкрапленных руд	Амантайтау (Узбекистан), Бакырлик (Казахстан), Нежданниковое, Сухой Лог (Россия)	Au, As	2,0–9; пирит, арсенопирит (халькопирит, сфалерит, галенит, пирротин)	2,5–11	Преимущественно березитизация, реже лиственитизация
Активизированные окраинные платформы	Карбонатные и алюмосиликатно-карбонатные породы	Золото-сульфидный прожилково-вкрапленных руд	Кокпатас, Даутыятау (Узбекистан), Майское, Ключес (Россия)	Au, As (Sb, W, Hg)	3,0–9; пирит, арсенопирит	3–15	Лиственитизация и березитизация
		Золото-сульфидный прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд	Карлин (США), Шьяндонг (Китай), Лухуми (Южная Осетия)	Au, As, Sb, Hg, Tl (Ag, W, Te, Ba)	8,0–16; мышьяковистый пирит, реальгар, аурипигмент, пирит, антимонит (барит, шеслит)	2–18	Джасперондизация, аргиллизация
Супракратонные комплексы докембрийских шитов	Слоистые железистые породы (ВН)	Золото-сульфидно-кварцевый прожилково-вкрапленных и штоковых руд	Ята, Манаока, Ланнгоу (Китай), Райен, Бетце-Поет, Голдворри (США), Тас-Юрях (Россия)	Au, As, Sb, Hg, Tl (Ag, W, Te, Ba)	Мышьяковистый пирит, реальгар, аурипигмент, пирит, антимонит, арсенопирит (барит, шеслит)	3–29	Аргиллизация, джасперондизация
		Золото-(турмалин) сульфидно-кварцевый жильных, стратиформных руд	Пассажем (Бразилия)	Au, As, В	Кварц, арсенопирит, турмалин, доломит	10	Предрудная турмалинизация и последующее окварцевание
		Золото-амфибол-сульфидный линзовидных массивных и вкрапленных стратиформных руд	Лулин (Канада)	Au, As, Cu (Fe, Al)	От 5 до 30 в линзах: пирротин, арсенопирит, леллингит, пирит, амфибол, Гранат, хлорит	6–11	Амфиболизация и последующая хлоритизация

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Супракрус- тальные комплексы докембрийских щитов	Слоистые железистые породы (ВНГ)	Золото-сульфидно-(кварцевый)-(карбонатный) массивных и вкрапленных стратиформных руд	Морроу-Белью, Рапозос (Бразилия)	Au, As, Cu	5-30; пирротин, арсенопирит, пирит, халькопирит	9,7-19,2	Турмалинизация; развитие фуксита
	Флишондные существенно алевритово- песчанниковые породы	Золото-сульфидно-амфибол-карбонатный прожилково-вкрапленных стратиформных руд	Хоумстейк (США), Олимпиадское? (Россия)	Au, As, Cu (Sb)	5-30; пирротин, арсенопирит (пирит, хлорит, сидерит, биотит=гранат)	6-8,4	Хлоритизация; березитовидные преобразования
Эпилафтор- менные рифто- генные впадины и бассейны*	Алевритопесчано-сланцевые и туфовые алевритовые породы	Золото-турмалин-сульфидно-кварцевый стратиформных залежей и штокерковых руд	Телфер (Австралия), Луло (Мали)	Au, Cu, As, Bi (Co, Ni, B, Se, Y, La)	От 5 до 70 в разных рудных телах: пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит (тередорфит, пентландит)	1,6-12,8	Турмалинизация; в меньшей степени окварцевание, серицитизация, карбонатизация
	Углеродистокварцат-сланцевые комплексы и базальты	Золото-сульфидно-кварцевый жильных и жильно-прожилково-вкрапленных руд	Апанги, Богосу (Гана), Калана (Мали)	Au, As, Pb, Ag, Cu, Zn (Sb, Hg)	1,0-8; арсенопирит, пирит, пирротин, марказит (халькопирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, бурнонит, буланжерит)	2-20	Березитизация, графитизация, хлоритизация
	Гнейсово-амфиболитовые, метабазаальт-метаринолитовые комплексы	Золото-сульфидно-кварцевый жильно-кварцевый жильно-штокерковых и массивных руд	Бобринское (Украина), Горный прииск (Россия)	Au, As, Pb, Ag, Cu, Zn (Sb, Hg)	Пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, сфалерит, сульфосоли Cu, Pb, Ag	1,5-3	Слабо выраженные преобразования березит-пестивитового типа; установлены новообразования серицитизации, хлорита, привнос K, S, As
Докембрийские зеленокаменные пояса оснований щитов (пифрактуры) стальные комплексы)	Гнейсово-амфиболитовые, метабазаальт-метаринолитовые комплексы	Золото-платиноидно-(шунгит)-сульфидный линз и залежей вкрапленных штокерковых и массивных руд	Рудопоявления Теллурусское, Комлевское, Пинга (Карелия)	Au, Ag, МПГ, Cu, Zn, Ni	0,5-22; пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, пентландит, галенит, молибденит	0,8-3,7	Березитизация
	Орогенно-складчатые пояса эвгессивно-клиноватого типа и области их тектонотампической активизации	Осадочно-вулканотенные и осадочно-туфовые комплексы	Колвар, Гадок (Индия), Калгурли (Австралия), Поржонлайн (рудное поле), Керкеленд Лейк (Канада)	Au, Cu, Pb, Te, Zn	1-8; пирротин, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, теллуриды Au, Ag, Bi, блеклые руды (арсенопирит, шеслит, молибденит, турмалин, анкерит)	4-18	Окварцевание, карбонатизация, альбитизация, фукситизация, хлоритизация
		Золото-сульфидно-кварцевый жильных, жильно-прожилково-вкрапленных руд	Грасс-Валли, Невада-Сити, Джуно (США), Кошкарское, Березовское, Дарасун (Россия)	Au, Cu, Ag, Bi, Te, Zn, Pb, V, As	2-10; пирит, блеклые руды, галенит, халькопирит, шеслит, арсенопирит, турмалин (пирротин, тетрадимит, теллуриды Au)	0,7-25	Березитизация; пестивитизация; карбонатизация, серицитизация, альбитизация, хлоритизация, фукситизация

Золото-пирит-(теллурид)-платиноидная рудно-формационная группа в базитонасыщенных комплексах

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Орогенно-складчатые пояса	Преимущественно карбонатные, вулканогенные и туфогенные комплексы, наиболее характерны обломочные и вулканокластические фации	Золото-сульфидно-алюмосиликатные залежи, гнезда, жильно-прожилковые тела	Золото-гликозиликатная (скарповая) рудно-формационная группа				
			Золотые, Au ≥ 3 г/т. Папуа (Никарагуа), Инкель Шейт (Канада), Тарор (Таджикистан), Спихинское (Россия)	Au, As, Cu, Ag, Bi, Te (W, B, Se)	8-12; халькопирит, пирит, пирротин, арсенопирит, сфалерит, магнетит (галенит, висмутин, теллуриды, псевлит)	3,1-13	Биотитизация, калишпатизация, ливинито- и березитоподобные изменения преимущественно в эндоскарнах
Вулканоуплотнительные пояса в областях развития субконтинентального вулканизма	Преимущественно андезитовая, андезитобазальтовая, трахизальтовая формации	Золото-полносурьфидно-теллуридно-кварцевые жилы, жильно-прожилковые и брекчьевые руды	Золото-серебряная эпитермальная рудно-формационная группа в вулканогенно-гидротермальных комплексах				
			Крипл Крик (США), Таува (Фиджи), Агинское (Россия)	Au, Ag, Te, Cu, Zn, Pb	≤1-2; пирит, халькопирит, сфалерит, тетраэдрит, теллуриды золота и серебра (антимонит, арсенопирит)	10 и более	Кварц-адуляр-гидрослюдастые; кварц-адуляровые (с флюоритом, карбонатами)
Вулканоуплотнительные пояса в областях развития субконтинентального вулканизма	Преимущественно андезитовая, андезит-дацитовая, риодацит-нирритовая формации	Золото-полносурьфидно-кварцевый жильный	Сильвертон-Теллурид (США), Кочубаяк (Узбекистан), Аметистовое (Россия)				
			Au, Pb, Zn, Cu, Ag	3-40; пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, теннантит, энартит, блеклые руды (аргентит, прустит, сульфосоли Ag)	5,1-30	Кварц-серцит-пиритовые (березитоподобные)	
Андезитовая, трахиандезитовая, андезит-трахирно-питовая, риолитовая формации	Золото-серебро-блеклорудный жильный	Золото-кварцевый жильный, жильно-прожилковый	Хисикари (Япония), Казыпалмасай (Узбекистан), Кубака (Россия)				
			Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Sb	≤1; электрум, кюстелит, пирит, сфалерит, галенит, антимонит	До 80 и более	Адуляр-гидрослюдасто-кварцевые; кварц-адуляровые	
Андезитовая, трахиандезитовая, андезит-трахирно-питовая, риолитовая формации	Золото-серебро-блеклорудный жильный	Золото-сульфидно-серебряный жильный	Балей, Карамкен (Россия)				
			Ag, Au, Sb, Cu (Sn, Se)	0,5-1,5; пирит, халькопирит, фрейбергит, антимонит, пираргирит (полибазит, теллуриды)		Кварц-гидрослюдасто-адуляровые, в верхнерудной зоне с добавлением аргиллизации, окварцевания	
Андезитовая, трахиандезитовая, андезит-трахирно-питовая, риолитовая формации	Золото-серебро-блеклорудный жильный	Золото-сульфидно-серебряный жильный	Пачука (Мексика), Котоман (Япония), Дукаг (Россия)				
			Ag, Au, Cu, Zn, Pb, Mn	>2; пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, аргентит, полибазит, пираргирит, акантит	6 и более	Окварцевание, аргиллизация	
Андезитовая, трахиандезитовая, андезит-трахирно-питовая, риолитовая формации	Золото-серебро-блеклорудный жильный	Золото-сульфидно-серебряный жильный, жильно-прожилково-вкрапленных руд	Гуанохуато (Мексика), Хаканджа (Россия)				
			Ag, Pb, Zn, Be, Au, Mn	0,1-1; акантит, кюстелит, электрум, галенит, сфалерит, гельвин, сульфосоли Ag, вауманиит, родонит	1-2,5	Гидрослюдасто-адуляр (альбит, хлорит)-кварцевые	

*Ограниченная роль в мировой сырьевой базе золота.

Выделение и название первых двух рудно-формационных групп (см. табл. 1) требуют остановиться на принципиальных различиях их вещественного состава, поскольку мышьяк, теллуриды и полисульфиды (сульфиды цветных металлов и блеклые руды) обычно присутствуют в месторождениях обеих групп. В месторождениях первой группы содержания As всегда повышены, обычно $>0,1\%$ и устанавливается положительная корреляция Au – As. Имеются месторождения (например, руды Сухого Лога или убогосульфидные руды золото-кварцевых объектов), в которых содержания As $<0,1\%$. Однако и в этих случаях коэффициент корреляции Au – As остается высоким. В то же время, количество цветных металлов в сумме обычно не превышает $0,1\%$, очень редко — до первых десятых долей процента. Исключение составляют некоторые типы месторождений в супракристалльных комплексах докембрийских щитов, характеризующиеся повышенным содержанием Cu до $0, n\%$. Теллуриды в месторождениях первой группы встречаются не всегда, обычно в виде микро- и нанопримесей, их содержание в руде не превышает десятитысячных долей процента. В рудах месторождений второй рудно-формационной группы, напротив, практически постоянно устанавливаются теллуриды, в том числе золота, их содержание нередко достигает тысячных и сотых долей процента. Во многих месторождениях данной группы до четверти массы всего золота связано с теллуридами, и выделяется оно в единых с ними парагенетических ассоциациях. Суммарное содержание цветных металлов в руде обычно составляет не менее $0,5\%$ и не менее половины количества золота ассоциирует с сульфидами цветных металлов и блеклыми рудами. Существенный признак руд из месторождений этой группы — отсутствие корреляции Au – As, даже в тех случаях, когда мышьяк составляет существенную долю в них. Сопоставление дискриминантных геохимических характеристик ряда месторождений двух рассматриваемых рудно-формационных групп приведено в табл. 2.

Следует учитывать, что некоторые месторождения трудно отнести к одному из обозначенных в таблице типов. Так, месторождение Олимпиадинское можно причислить к золото-сульфидному типу орогенно-складчатых поясов, поскольку оно размещается в складчатой области, характеризующейся миогеосинклинальным типом развития [5]. Такую же позицию месторождения определяют М.М.Константинов и др. [4]. В складчатой области интенсивно проявлен интрузивный магматизм. Выявлено, по крайней мере, два крупных

орогенных интрузивных комплексов. С другой стороны, рудные тела и участки месторождения приурочены к рудоносной пачке мощностью 200–300 м, протягивающейся на несколько десятков километров. В ее пределах обнаружено еще четыре–пять рудопроявлений сходного с Олимпиадинским золото-сульфидного типа. На продуктивном (нижнем) уровне пачка сложена преимущественно слюдисто-кварц-карбонатными метасоматитами, развитыми по карбонат-биотит-мусковит-кварцевым и хлоритоидным сланцам, установлены также гранат-пироксен-амфибол-эпидотовые породы типа скарноидов. Составы руд (преимущественно арсенопирит, пирротин из рудных минералов, железистый кальцит, доломит, мусковит, хлорит, цоизит из жильных) и рудовмещающей пачки, а также стратиформное и стратиформное размещение рудных залежей имеют определенное сходство с таковыми на месторождении Хоумстейк, относящемся к золото-(амфибол)-(хлорит)-карбонатному типу с прожилково-вкрапленными стратиформными рудами супракристалльных комплексов докембрийских щитов.

Одним из факторов, осложняющих типизацию золоторудных месторождений, является их зональное строение. Отмечено [2], что в верхней части многих золото-мышьяково-сульфидных объектов в терригенных комплексах более широко проявлены золото-кварцевые жилы, чем на глубоких уровнях, где они выклиниваются, а золото-сульфидно-вкрапленная минерализация становится более интенсивной. Так, на месторождении Джилао в Таджикистане (>50 т Au) с поверхности обрабатывался золото-кварцевый штокверк крупных жил и прожилков, в рудах которого содержание сульфидов не превышало первых десятых долей процента. На глубине 230 м от поверхности содержание сульфидов в руде по данным технологической пробы составило $\sim 2\%$. На глубине 300 м вкрапленность сульфидов в руде уже 3–4%, а жилы, сопоставимые по мощности с обрабатывавшимися в карьере, не отмечены. Встречаются мелкие прожилки кварца и редкие участки метасоматического окварцевания. По-видимому, верхняя часть месторождения относится к золото-кварцевому типу жильных и штокверковых руд, а на глубине 250–300 м от поверхности — к золото-сульфидно-кварцевому прожилково-вкрапленных руд. В данном случае происходит совмещение на одном месторождении двух геолого-промышленных типов руд.

Сложные взаимосвязи существуют и в группе золото-серебряных эпitherмальных месторождений, на которых нередко еще более резко проявлены вещественная и структурно-текстурная зональ-

2. Дискриминантные геохимические характеристики в месторождениях золото-мышьяково-сульфидной и золото-пирит-(теллурид)-полисульфидной рудно-формационных групп

Месторождение	As, %	Корреляция Au-As	Cu, % ++ >0,1%, + <0,1%	Pb, % ++ >0,1%, + <0,1%	Zn, % ++ >0,1%, + <0,1%	Te, % ++ >0,001%, + <0,001%	Характер теллуридов
<i>Золото-мышьяково-сульфидная рудно-формационная группа в терригенных, вулканогенно-терригенных, карбонатно-терригенных комплексах</i>							
Майское	>0,1	>+0,5	0,01	0,03	0,02	+	
Чоре (Таджикистан)	То же	То же	До 0,008	До 0,07	До 0,01	0,0001	
Яфч (Таджикистан)	«	«	0,03	0,004	0,017	0,0004	
Бакырчик (Казахстан)	«	«	0,01–0,15	0,01–0,03	0,008–0,3	Не отмечен	
Сухой Лог	<0,1	«	0,042	0,01–0,022	0,085–0,102	+	Микро- и нано-примеси теллуридов Bi, Au, Ag
Мурунтау (Узбекистан)	0,1	«	0,01	Не отмечен	0,02	+	
Чармитан (Узбекистан)	>0,1	«	0,001–0,04	0,017–0,17	0,017–0,10	+	Калаверит, пеццит, гессит
Шиньдонг, Ята (Китай)	То же	«	+	+	+	+	
Бетце Голдштрайк (США)	«	«	+	+	+	+	
Хоумстейк (США)	«	+0,5	0,005–0,15	0,005–0,15	0,01–0,19	Не отмечен	
Морроу Велью (Бразилия)	«	>+0,5	0,2–0,4	+	+	То же	
Лупин (Канада)	«	То же	++	Не отмечен	Не отмечен	«	
Ашанти, Богосу (Гана)	«	«	+	+	+	«	
<i>Золото-пирит-(теллурид)-полисульфидная рудно-формационная группа в базитонасыщенных комплексах</i>							
Дарасун	>0,1	+0,07	++	++	+	++	Теллуриды Bi, Ag, Au, Pb
Березовское	<0,1	Нет	0,01–0,07	0,07–0,5	0,04–0,06	+	Тетрадимит
Кочкарь	>0,1	То же	0,13–0,15	0,14–0,35	0,07	0,0015	Золото-тетрадимитовая ассоциация
Быньговское	<0,1	«	0,04–0,03	+	+	0,0007–0,015	Широкий комплекс теллуридов
Джеруй (Киргизия)	То же	«	Не отмечен	До 0,75	До 0,09	0,0001–0,005	В ассоциации с теллуридами находится 25% Au
Миндяк	«	«	++	+	++	Не отмечен	
Джуно (США)	«	«	+	+	+	То же	
Грасс-Валли (США)	<<0,1	«	+	++	++	+	Установлены теллуриды
Пояс Мазер Лоуд – Карсонхилл (США)	>0,1 и <0,1	«	+	+	+	+	Широкий комплекс теллуридов
Калгурли (Австрия)	<0,1	«	+	+	+	++	С теллуридами связано 20% Au
Керкленд Лейк (Канада)	То же	«	+	+	+	++	Теллуридный тип руд
Колар (Индия)	«	«	+	+	+	++	Ассоциации золота с теллуридами
Сигма-Ламак (Канада)	-	«					Ассоциации золота с теллуридами

ности руд. Как показано М.М.Константиновым с соавторами [3], на месторождении Дукач в вертикальном интервале 180–200 м выделяются четыре зоны, отличающиеся составом руд (снизу вверх): кварцевые руды→хлорит-кварцевые с вкрапленностью адуляра, ранней золото-серебряной (акантит) и поздней полиметаллической (арсенопирит, клей-

офан, галенит) минерализацией→кварц-адуляровые с ранней золото-серебряной (самородное серебро, акантит, галенит, сфалерит) минерализацией→адуляр-хлорит-кварцевые с ранней золото-серебряной (сульфосоли серебра, акантит, электрум) минерализацией. Основная ценность месторождения связана с серебром, поэтому оно отнесено к

единому геолого-промышленному типу, хотя разное фазовое состояние Ag (самородное, в составе сульфида, сульфосолей, в соединении с золотом), а также резко различное содержание Mn и его минеральных фаз (силикаты, карбонаты, оксиды), требующее определенной технологии извлечения серебра, обуславливают выделение разных технологических типов руд.

Яркий пример совмещения в одном объекте двух геолого-промышленных типов руд и (как не парадоксально это звучит) двух рудно-формационных типов — месторождение Воронцовка на Урале. В девонских туфогенно-осадочных алюмосиликатных отложениях локализованы золото-арсениопирит-пиритовые вкрапленные руды, а в подстилающих карбонатных породах — золото-реальгар-антимонитовые вкрапленные руды. Мнения исследователей о времени формирования золотых руд расходятся. Одни предполагают, что рудный процесс связан с девон-нижнекаменноугольным диорит-гранодиорит-гранитным комплексом [8], другие — с триасовым и более поздним периодом тектономагматической активизации [1].

В заключение отметим, что в предлагаемую схему типизации не включен важнейший в мире тип золотых (уран-золотых) месторождений в докембрийских конгломератах (эталон — Витватерсранд в ЮАР). Несмотря на многочисленные генетические модели формирования таких месторождений от кластогенно-осадочной до гидротермальной эпигенетической, геологи-практики, работающие на эксплуатируемых объектах Витватерсранда, при поисках, разведке и отработке руд руководствуются закономерностями рудолокализации, связанными с их аллювиальным происхож-

дением (С.Ф.Стружков, 2008, устное сообщение). Поэтому считаем, что с позиции рудно-формационной типизации, ориентированной на прогноз, поиск и оценку, эти месторождения следует отнести к осадочным.

Выражаю признательность Ю.М.Щепотьеву за плодотворное обсуждение и конструктивную критику предложенной схемы типизации золоторудных месторождений, а также Е.В.Тарасовой за помощь в оформлении статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бегетнев С.В.* Золотоносные джаспероиды Ауэрбаховского рудного узла и их поисковое значение. Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — Екатеринбург, 2000.
2. *Вихтер Б.Я.* Зональная изменчивость золоторудной минерализации на золото-мышьяково-сульфидных месторождениях // Руды и металлы. 2006. № 3. С. 60–73.
3. *Золото-серебряные* месторождения / М.М.Константинов, Н.П.Варгунина, Т.Н.Косовец и др. — М.: ЦНИГРИ, 2000.
4. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф.* Золоторудные гиганты России и мира. — М.: Научный мир, 2000.
5. *Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М.* Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. — М.: ЦНИГРИ, 1999.
6. *Оценка* прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото». — М.: ЦНИГРИ, 2002.
7. *Российский* металлогенический словарь / Под ред. А.И.Кривцова. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003.
8. *Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г.* Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. 1997. № 1. С. 59–70.

УДК 553.044:550.83

© А.П.Лихачев, Г.В.Ручкин, 2010

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО УРАЛА

А.П.Лихачев, Г.В.Ручкин (ЦНИГРИ Роснедра Минприроды России)

Рассматриваются возможности использования геофизических данных в прогнозных целях на примере закрытой мезокайнозойским чехлом восточной части Северного, Приполярного и Полярного Урала (территория проектируемой Североуральской железной дороги).

Ключевые слова: Урал, глубинные геофизические данные, прогноз, районирование.

Лихачев Александр Петрович, alexanderlikhachev@rambler.ru, Ручкин Георгий Владимирович, metallogeny@tsnigri.ru

USING GEOPHYSICAL DATA FOR FORECAST-METALLOGENIC ZONING AS AN EXAMPLE OF THE NORTHERN URALS

A.P.Likhachev, G.V.Ruchkin

The possibilities of using geophysical data in order to forecast the example of a closed Meso-Cenozoic cover the eastern part of the North, the Arctic Urals (the territory of the projected Severouralsk railroad).

Key words: Ural, deep geophysical data, forecast, zoning.

Как известно, геофизические исследования являются единственным дистанционным способом получения информации о состоянии и физических свойствах земных недр — плотности, магнитности и электропроводности горных пород и руд. Особую ценность они представляют при изучении закрытых районов и глубоких горизонтов земной коры и мантии, а также при определении площадей, перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых. Интерпретация геофизических данных и эффективность их использования в прогнозных и поисковых целях зависят от понимания и учета происходивших геологических событий и конкретных условий их реализации.

Общая особенность месторождений полезных ископаемых состоит в том, что подавляющее большинство из них формировалось в первично водонасыщенных депрессионных структурах с непрерывным участием воды и во многом благодаря ее наличию [9]. Происхождение большинства месторождений связано с водосодержащими процессами, осуществляемыми в ходе формирования и эволюции земной коры и оказывающими влияние на физические свойства рудных объектов и вмещающих их толщ. В целом составляющие земной коры подверглись различным преобразованиям, в том числе разрывным нарушениям, трещиноватости, гидротермальным метаморфическим изменениям вкрапленного, прожилково-вкрапленного, прожилкового, жильного и сплошного типов. Таким образом, получаемые в реальности геофизические данные в значительной мере отражают степень измененности, а не первичное состояние горных пород, что необходимо учитывать при их интерпретации.

Основной процесс преобразования коровых толщ и верхней мантии связан с гидратацией породообразующих минералов [9]. Гидратация минералов и пород земной коры и мантии носит глобальный, региональный, зональный и локальный характер.

Глобальная гидратация это повсеместный, медленно протекающий процесс, связанный с перемещением изотермы 500°C вниз по мере общего охлаждения планеты и миграции за ней воды. Есть основания полагать, что современный уровень глобальной гидратации Земли в геофизических полях фиксируется границей Мохо, находящейся на континентах и в океанах вблизи изотермы 500°C.

Региональная гидратация представляет собой более активный процесс. Она реализуется как в пределах континентов, так и под океанами в результате проникновения поверхностной воды в глубокие горизонты по нарушенным зонам, нередко являясь первопричиной этих нарушений. Отдельные точки проникновения воды в мантию в дальнейшем объединяются и образуют единую систему, в которой впоследствии совершается спрединг литосферных плит. Причем раздвижение плит обусловлено преимущественно гидратацией мантийного вещества и подъемом гидратированных (серпентинизированных) масс подобно тому, как это происходит в поле Рейнбоу Срединно-Атлантического хребта [10]. Гидратация и подъем мантийного материала в зонах спрединга океанического дна вызывает конвекцию вещества мантии, которая обеспечивает погружение (затягивание) гидратированных масс в зонах субдукции. С региональной гидратацией связано образование океанических и континентальных депрессионных

структур (прогибов, рифтов), являющихся основным местом проявления магматизма и процессов рудообразования.

Зональная гидратация осуществляется за счет поступления воды в земную кору и мантию на сравнительно ограниченных площадях. Она обуславливает проявление относительно изолированного магматизма с образованием крупных расслоенных комплексов бушвельдского типа, щелочно-ультраосновных массивов и кимберлитовых трубок.

Локальная гидратация в пределах земной коры в основном происходит вокруг внедряющихся в нее мантийных и коровых магматических масс вследствие воздействия их тепла на окружающую водосодержащую среду и в результате поступления воды во внедренные магматические тела.

Проникновение воды в глубокие горизонты земной коры и мантию осуществляется по двум причинам — гравитационной и термической. Гравитационное движение обусловлено силой тяжести (подчиняется закону Архимеда), а термическое — температурным градиентом, при котором движение воды (флюида) определяется как гравитационной силой, так и тепловым расширением (законом Паскаля). Причем если гравитационное проникновение воды может быть остановлено высокой плотностью пород и отсутствием в них нарушений, то термическое, связанное с термоградиентной циркуляцией, преодолевает практически все преграды и ограничивается в основном изотермой гидратации–дегидратации минеральных фаз.

Следовательно, гидратация минералов пород земной коры и мантии преимущественно связана с термическим движением воды. Она вызывается наличием температурного градиента и происходит путем циркуляции (конвекции) воды между горячими и холодными зонами (горизонтами).

На границе гидратации–дегидратации минералов (оливина, пироксенов, плагиоклаза и др.) вода поглощается и освобождается. Освобожденная вода вовлекается в конвекционное движение и перемещается в более высокие горизонты (в холодную зону) с последующим возвращением ее и новых порций воды в горячую зону (зону гидратации–дегидратации).

Движение водных потоков в термоградиентной среде практически во всех случаях осуществляется по конвекционным ячейкам, состоящим из восходящих и нисходящих (прямых и обратных) ветвей и имеющим различный поперечный размер, зависящий от площади «нагревателя» и глубины его нахождения.

Циркуляция растворов сопровождается растворением веществ в горячих зонах и их отложением

(кристаллизацией) в холодных. Она приводит также к определенным преобразованиям коровых толщ в рамках действия циркуляционных ячеек: в восходящих ветвях происходят одни изменения, в нисходящих — другие, что может фиксироваться геофизическими методами.

Сравнительно холодный поток воды циркуляционной ячейки, опускающийся в глубокие горизонты коры и мантию, преобразования окружающей среды производит преимущественно в его нижнем замыкании, т.е. в пределах нижней коры и верхней мантии, а поднимающийся — в пределах земной коры.

Опускающийся поток приводит к гидратации пород нижней коры и мантии, а поднимающийся — к привносу в земную кору легко растворимых (в том числе рудных) компонентов и к неоднократному перераспределению веществ коры.

Восходящий поток в основном обогащает породы коры рудными компонентами. Концентрация же их до месторождений происходит преимущественно под воздействием внедряющихся магматических масс на обогащенные рудным веществом толщ. Вокруг них возникают собственные сравнительно небольшие (локальные) термоградиентные тепловые поля и конвекционные потоки водных растворов, формирующих месторождения.

В физическом отношении «каналы» опускающихся потоков должны иметь большую плотность, чем поднимающихся, в которых накапливаются рудные компоненты, вынесенные из мантии и нижней коры, и происходят метасоматические преобразования пород. Относительно меньшая плотность участков поднимающихся потоков обеспечивает предпочтительное внедрение в них мантийных и коровых магматических масс, что приводит к перераспределению рудных веществ и образованию месторождений полезных ископаемых.

Рудообразующие процессы увеличивают предшествующую (дорудную) измененность вмещающих пород и усиливают контрастность рудоносных площадей в геофизических полях, выраженную в понижении плотности слагающих их толщ. Присущая потенциально рудоносным блокам пониженная плотность дает возможность вычленять их геофизическими методами и тем самым определять площади, перспективные на обнаружение месторождений полезных ископаемых.

Рассматриваемая в качестве примера территория находится в восточной части Северного, Приполярного и Полярного Урала (рис. 1) и ограничена мезокайнозойским чехлом мощностью от 0 до 400 м, определяющей доступность и целесообразность поисковых работ в пределах перекрытого

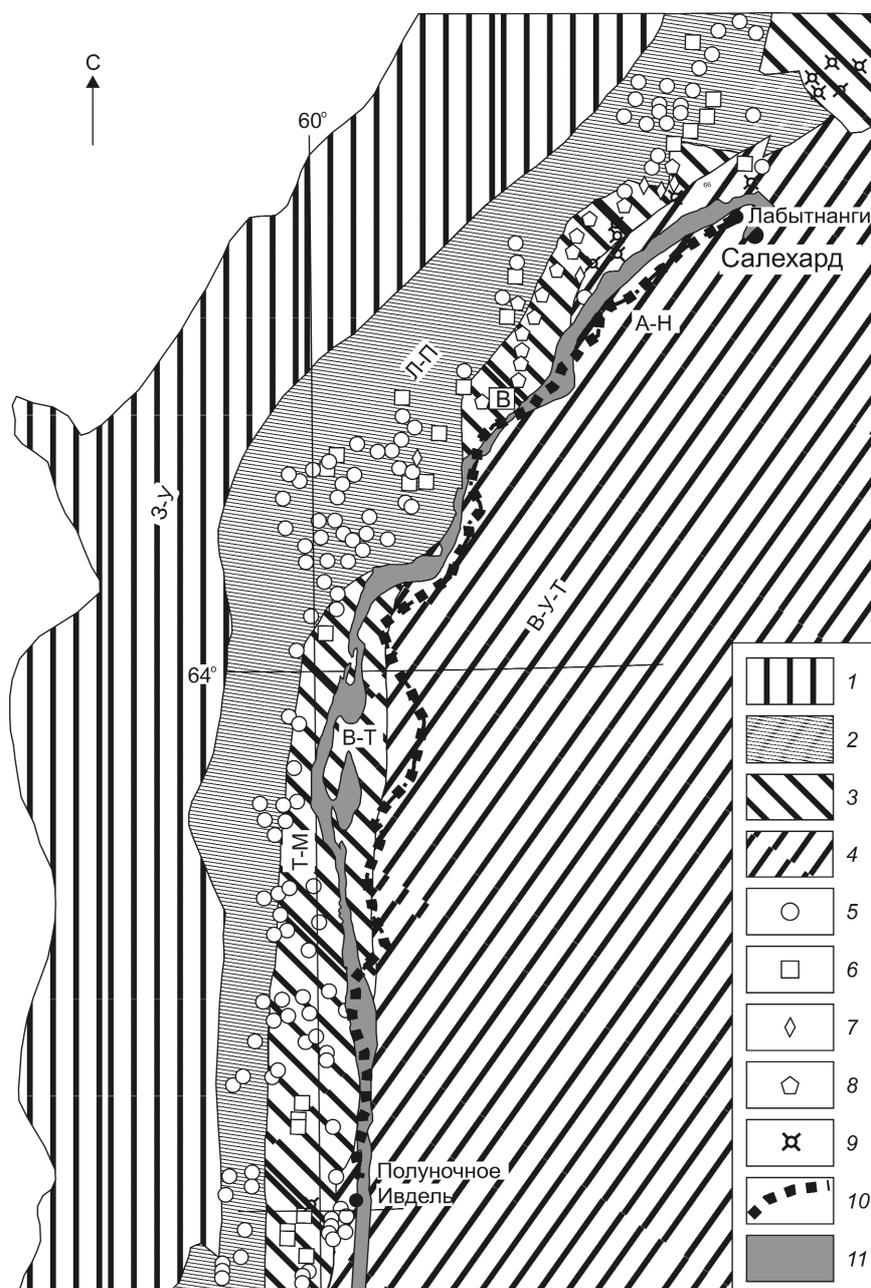


Рис. 1. Схема структурно-формационного районирования северной части Уральской складчатой системы и размещения известных месторождений и рудных проявлений золота и цветных металлов, по [3] с упрощениями:

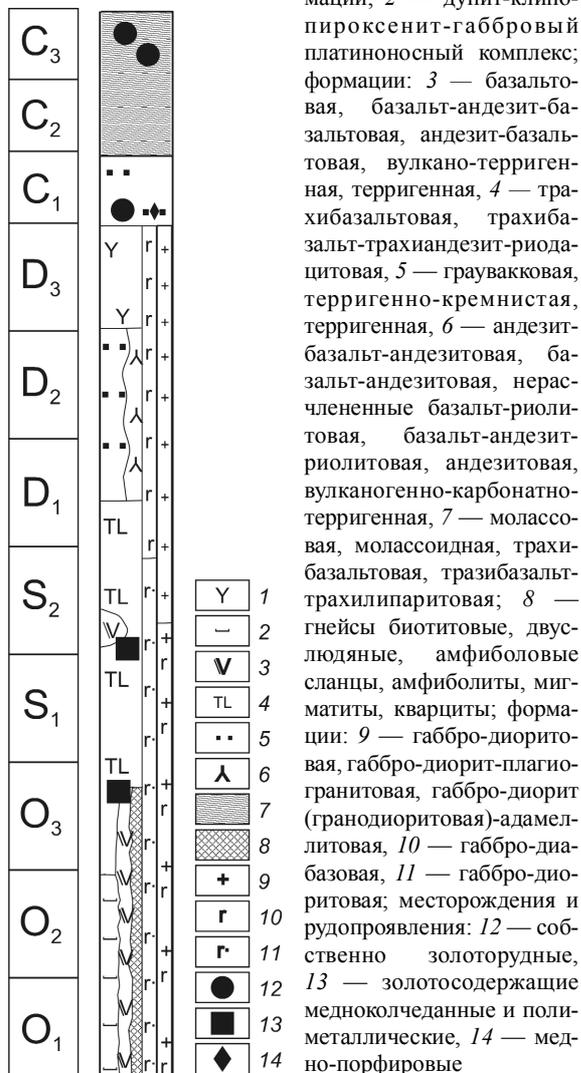
структурно-формационные мегазоны: 1 — Западно-Уральская (З-У), 2 — Ляпинско-Полярноуральская (Л-П), 3 — Тагильско-Магнитогорская (Т-М), 4 — Восточно-Уральско-Тобольская (В-У-Т); участки подзон: В-Т — Восточно-Тагильской, В — Войкарской, А-Н — Ауэрбаховско-Новогодненской; месторождения и рудные проявления: 5 — собственно золоторудные, 6 — золотосодержащие медноколчеданные и полиметаллические, 7 — медно-порфировые, 8 — медно-золото-платиноидные магматические, 9 — железомедные скарновые; 10 — проектируемая железная дорога; 11 — площадь, наиболее доступная для поисковых работ (мощность чехла от 0 до 400 м)

чехлом фундамента. Она включает участки Восточно-Тагильской, Войкарской и Ауэрбаховско-Войкарской структурно-формационных подзон, входящих в состав Тагильско-Магнитогорской и Восточно-Уральско-Тобольской структурно-формационных мегазон.

Восточно-Тагильская подзона представляется как восточная часть Тагильского эвгеосинклинального (островодужного) прогиба — синклиория [3]. В обобщенном разрезе подзоны показывается наличие ордовикских образований (рис. 2), но ее описание обычно начинается с силура. Отмечается, что внизу подзона сложена вулканогенно-осадочными отложениями именной свиты силура ($S_{1v3}-S_{2ld}$), вулканиты которых представляют собой непрерывный ряд (последовательно дифференцированный структурно-формационный комплекс), включающий базальты, андезито-базальты, андезиты, дациты, риолиты и образующий мощную систему вулканогенных гряд островодужного режима накопления. Присутствуют существенно натровые трахиандезиты. Широко распространены склоновые и межрядовые фации — туфоконгломераты и туфопесчаники, полимиктовые песчаники; вверху появляются рифогенные известняки. Наиболее полные данные по именной свите получены при проходке и

Рис. 2. Колонка обобщенного разреза Восточно-Тагильской подзоны, по [3]:

1 — нерасчлененные базальт-риолитовая, базальт-андезит-риолитовая, вулканогенно-карбонат-терригенная формации; 2 — дунит-клинопироксенит-габбровый платиноносный комплекс; формации: 3 — базальтовая, базальт-андезит-базальтовая, андезит-базальтовая, вулканогенно-терригенная, терригенная, 4 — трахибазальтовая, трахиандезит-риодацитовая, 5 — граувакковая, терригенно-кремнистая, терригенная, 6 — андезит-базальт-андезитовая, базальт-андезитовая, нерасчлененные базальт-риолитовая, базальт-андезит-риолитовая, андезитовая, вулканогенно-карбонатно-терригенная, 7 — молассовая, молассоидная, трахибазальтовая, трахибазальт-трахипаритовая; 8 — гнейсы биотитовые, двуслюдяные, амфиболовые сланцы, амфиболиты, мигматиты, кварциты; формации: 9 — габбро-диоритовая, габбро-диорит-плагиогранитовая, габбро-диорит (гранодиоритовая)-адамеллитовая, 10 — габбро-диабазовая, 11 — габбро-диоритовая; месторождения и рудопроявления: 12 — собственно золоторудные, 13 — золотосодержащие медноколчеданные и полиметаллические, 14 — медно-порфировые



изучении материалов сверхглубокой скважины СГ-4 [4].

Исследования керна сверхглубокой скважины СГ-4 показывают [14], что во всем пятикило-метровом интервале преобразования породообразующих минералов соответствовали пренит-пумпеллитовой фации. Температуры вторичных процессов составляли 150–330°C. Для верхних горизонтов разреза максимальная температура метаморфизма соответствовала 250°C, для нижних — 330°C. Основным агентом преобразований была вода океанического происхождения. Контактный метаморфизм проявлялся вокруг интрузивных тел при температурах 400–700°C (Качканар — 650–700°C; Гороблагатское — 400–650°C [12]).

Осадочные и магматические породы характеризуются сравнительно высокими содержаниями цветных, черных и благородных металлов, достаточными для образования рудных скоплений (месторождений и рудопроявлений Fe, Cu, Au, Zn, Pb и др.) путем их термической и флюидной мобилизации.

Выше по разрезу отложения турьинской свиты (S₂ld–D₁) сложены вулканогенными формациями (трахибазальтовой, трахибазальт-трахиандезит-риодацитовая, трахитовой), состоящими из вулканических (трахибазальты, трахиандезиты, трахиты, их туфы, гиалокластиты, игнимбриты), вулканогенно-осадочных (туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты, аргиллиты, глинисто-кремнистые сланцы, известняки) и субвулканических (трахибазальты, трахиандезиты) пород. Характерна высокая щелочность вулканитов калиевой специфики.

Среди интрузивных образований преобладают тела ультрабазитов и базит-ультрабазитов, включая массивы Уральского платиноносного пояса. С ними пространственно ассоциируют габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты и плагиограниты (S). Существуют также и более молодые по возрасту самостоятельные плагиогранитные и диорит-плагиогранитные интрузии (S₂–D₁).

В целом отмечается сходство интрузивных образований обоих крыльев Тагильского синклиория. В западном крыле они представлены почти непрерывным поясом расслоенных платиноносных массивов дунит-пироксен-габбровой формации, имеющих в основном пологое восточное падение. В восточном крыле проявлен пояс интенсивно серпентинизированных ультрабазитов, называемый Серовско-Маукским. Образования этого пояса падают круто к западу со сменой с востока на запад дунитов пироксенитами, а далее габброидами. Породы, слагающие Серовско-Маукский пояс, как и Платиноносный пояс западного крыла, рассматриваются в качестве основания разреза Тагильского синклиория. Вмещающие Платиноносный пояс отложения кембро-ордовикского вулканогенно-терригенного комплекса имеют большое сходство с нижнепалеозойским, граничащим с Серовско-Маукским поясом на востоке.

Тагильской структурно-формационной зоне [3] свойственны комплексные золотосодержащие месторождения медноколчеданного семейства. Они представлены месторождениями медно-цинково-колчеданного (уральского) типа и связаны преимущественно с двумя формациями: контрастной базальт-риолитовой (S₁ln₁₋₂) и последовательно дифференцированной (S₁ln_{3-v2}). Наиболее высокие содержания Au (до 5–7 г/т) установлены в месторождениях Южно-Павдинской группы (Гарниковское,

Южно-Гарниковское и др.), ассоциирующих с последовательно дифференцированной формацией. Высокие содержания Au (3,01 г/т) и Ag (57 г/т) присущи месторождениям Тагильской группы (им. Ш Интернационала и др.), связанным с контрастной базальт-риолитовой формацией.

Металлогеническая специализация отложений именновской свиты на руды цветных металлов определяется рудоносными плутогенными комагматами базальт-андезито-базальтовой формации (S_2-D_1) — интрузивами габбро-диорит-тоналит-гранодиоритовой формации (собский, верхне-тагильский и другие интрузивные комплексы). Оруденение представлено плутогенным скарновым и вулканогенно-плутогенным порфировым семействами, включая железо-медно-скарновый и медно-порфировый геолого-промышленные типы.

Наиболее значимые скопления руд цветных металлов в пределах отложений турьинской свиты и ее непосредственного обрамления представлены промышленными месторождениями железо-медно-скарнового типа с попутной золотоносностью руд. Эти объекты связаны с плутогенными комагматами вулканитов турьинского структурно-формационного комплекса — образованиями кушвинского интрузивного комплекса габбро-сиенитовой формации (D_1), входящими в состав соответствующей вулканоплутонической ассоциации.

Войкарская подзона, как северное продолжение Восточно-Тагильской подзоны, охватывает область развития раннегеосинклинальных трещинных эруптивов толеитовых базальтов и дифференцированных островодужных вулканитов ордовик-силурийского возраста [3]. С запада она ограничена Главным Уральским надвигом, с востока нижнедевонско-каменноугольными отложениями Ауэрбаховско-Войкарского (Новогодненского) вулканоплутонического пояса.

В раннегеосинклинальном комплексе недифференцированной базальтовой формации ордовика известны колчеданные образования кипрского типа (Малая Турунья — Приполярный Урал). С дунит-клинопироксенит-габбровой формацией Полярного и Приполярного Урала связаны многочисленные проявления хромитов, среди которых отмечаются объекты с повышенными содержаниями Pt, иногда Au.

Ауэрбаховско-Новогодненская подзона относится к Восточно-Уральской металлогенической зоне (см. рис. 1). В связи с развитием на большей части подзоны чехла субконтинентальных (D_3fm-C) и платформенных (MZ_2-KZ_2) отложений ее рудоносность изучалась лишь в пределах Полярно-Уральского и Среднеуральского сегментов [3]. В

базальт-андезито-базальтовых, базальт-андезитовых и андезитовидных вулканогенно-осадочных отложениях D_{1-2} были открыты золотосодержащие и золотые месторождения и многочисленные рудопроявления следующих геолого-промышленных типов: золото-сульфидного (золото-сульфидно-кварцевого) вкрапленного и прожилково-вкрапленного метаморфогенно-гидротермального; золотосодержащего железо-(медного)-скарнового; золотосодержащего медно-(молибденового) и золото-(медного) порфирового; золото-полисульфидно-кварцевого (золото-кварцевого) гидротермально-плутогенного.

В Полярно-Уральской части металлогенической подзоны известно золото-магнетит-скарновое месторождение Новогоднее-Монто, расположенное в Тоупглол-Новогодненском рудном поле. Участок месторождения сложен отложениями девонской (D_{1-2} , D_3-C_1) вулканоплутонической ассоциации, представленной базальт-андезитовой (некки, силлы, ингимбриты, лавы, туфолавы), андезитовидной вулканогенно-осадочной (туфы, пепловые туфы, туффиты, вулканомиктовые песчаники и известняки), габбро-гранодиорит-тоналитовой (D_{1-2}), габбро-монцо-диоритовой (D_3-C_1) и диабазовой дайковой (C_{1-2}) формациями.

Промышленная золотая минерализация локализована в вулканогенно-осадочной толще в слоях и прослоях избирательно скарнированных известняков и карбонатсодержащих вулканомиктах, сопряженных с секущими жильными и прожилково-жильными зонами. Для первых характерна золото-сульфидно-магнетит-скарновая гнездово-вкрапленная стратифицированная, для вторых — золото-(сульфидно)-кварцевая прожилково-вкрапленная ассоциация. Содержание Au в сложных по форме рудных телах составляет 2–14 г/т. Непромышленная стратифицированная золотая минерализация (Au <0,5–1 г/т) развита в породах вулканогенно-осадочной толщи, а также в секущих прожилково-вкрапленных зонах в массивах габбро и монцонитов (D_3-C_1).

Сульфидная минерализация золоторудных ассоциаций, кроме преобладающего пирита, содержит пирротин, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит и соответственно повышенные количества Cu, Zn, Pb, As, Co.

Метасоматические изменения пород, вмещающих рудные тела, соответствуют следующим водосодержащим формациям пониженной плотности (от ранних к поздним): зеленокаменной, распространенной повсеместно; пропиловитовой, развитой по вулканитам на флангах рудной зоны; березитов-

вой и серицит-кварцовой (кварцевой); кварц-карбонат-гидрослюдистой и джаспероидной. Кварц-карбонат-гидрослюдистые изменения проявлены по всему месторождению и рудному полю. Обычно они приурочены к зонам разломов. С ними ассоциирует золото-сульфидно-карбонат-кварцевая жильная, прожилково-жильная и прожилково-вкрапленная минерализация. Они содержат по-

вышенные количества Co, Cu, Pb, Zn, As. Отмечаются микровключения теллуридов и самородного Au. Наиболее поздние джаспероидноподобные апокарбонатные метасоматиты на всех стадиях процесса джаспероидизации сопровождаются привнесением Ag, Cu, Co. Содержание Ag изменяется от 1–10 до 100–200 г/т на поздних стадиях рудного процесса.

По рассматриваемой территории имеется значительное количество геофизических данных, которые позволяют в той или иной степени судить о строении и составе палеозойского фундамента на глубину до 10 км и более и оценивать его перспективность на обнаружение месторождений цветных и благородных металлов в пределах доступной для поисковых работ перекрытой чехлом площади. Наиболее важными для этих целей являются результаты определения плотностных, скоростных и отражающих характеристик пород разреза палеозойских и нижележащих коровых и мантийных толщ.

Территория в целом характеризуется плотностными данными объемной (блоковой) модели [5], рассчитанной до глубины 10 км (рис. 3). Выделенная, наиболее доступная для поисковых работ, площадь пересекает различные по плотности блоки. Но большая ее часть (особенно в южной половине) приходится на блоки пониженной плотности (2,7–2,84 г/см³).

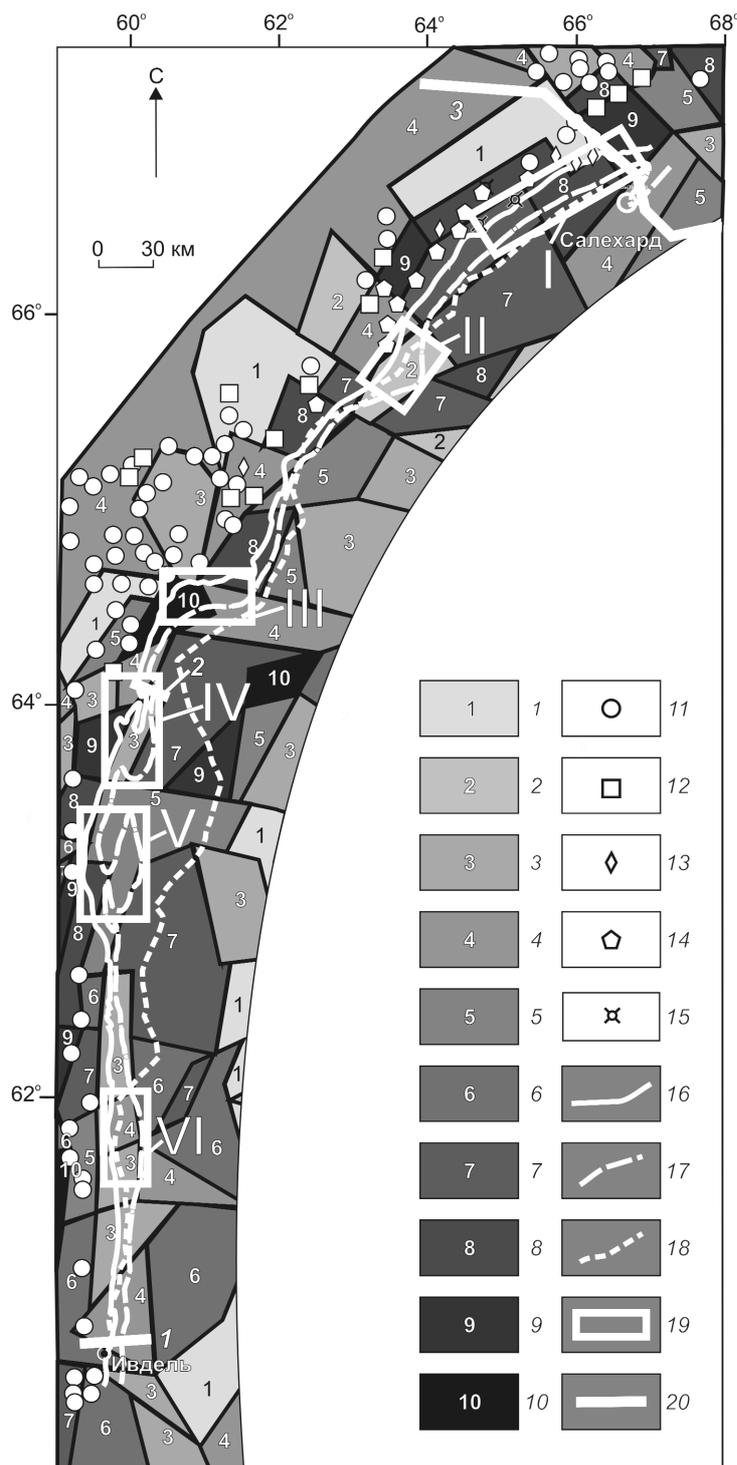


Рис. 3. Уральский фрагмент разломно-блоковой модели доюрских комплексов от подошвы осадочного слоя до глубины 10 км, по [5] с дополнительной нарезкой:

расчетные плотности выделяемых участков, г/см³: 1 — 2,60–2,64; 2 — 2,65–2,69; 3 — 2,70–2,75; 4 — 2,75–2,79; 5 — 2,80–2,84; 6 — 2,82–2,86; 7 — 2,85–2,89; 8 — 2,90–2,94; 9 — 2,95–2,99; 10 — 3,00–3,20; месторождения и рудопроявления: 11 — собственно золоторудные, 12 — золотосодержащие медноколчеданные и полиметаллические, 13 — медно-порфировые, 14 — медно-золото-платиноидные магматические, 15 — железомедные скарновые; 16–17 — границы (изопахиты) чехла мощностью от 0 (16) до 400 м (17); 18 — проектируемая железная дорога; 19 — первоочередные перспективные участки, наиболее доступные для поисковых работ; 20 — фрагменты линий сейсмических разрывов: Красноленинского (1), Мурманск–Кызыл (2), Полярно-Уральского (3)

Глубинное строение южной части (Северный Урал) могут характеризовать данные разреза Красноленинского профиля ГСЗ, выраженные в плотностных величинах (рис. 4; см. рис. 3). Наиболее доступный для поисковых работ участок (район г. Ивдель) располагается в клинообразном блоке, направленном острым углом вниз (см. рис. 4). Блок состоит из двух резко различающихся по плотности разновидностей (толщ) — вверху с плотностью 2,70–2,75 г/см³, внизу — 2,80–2,85 г/см³. Окружен блок однородной средой с плотностью 2,85–2,90 г/см³ и внизу соприкасается с толщей, плотность которой составляет 3,0–3,05 г/см³. Последняя прослеживается до глубины ~45 км, где сочленяется с горизонтом мантии, имеющим плотность 3,15–3,20 г/см³. В целом же рассматриваемый клинообразный ивдельский блок находится в более крупном общем блоке, охватывающим всю толщу земной коры. В его западном краю находится Тагильско-Магнитогорский прогиб.

Средняя часть выделенной площади и ее окружение (Приполярный Урал) характеризуется плотностными данными глубинного разреза по профилю МГЗ Мурманск–Кызыл [3] (рис. 5; см. рис. 3).

На фоне горизонтальной расчлененности земной коры выделяются поперечные вертикальные блоки различной плотности, причем наибольшее их количество приходится на верхнюю и среднюю кору (см. рис. 5).

В верхней коре территория Урала имеет контрастно неоднородную плотность, выраженную в виде сравнительно узких вертикальных полос (блоков). А в нижней коре проявляется чередование слоев различной плотности и фиксируется сравнительно глубокое погружение коры в мантию, т.е. прогнутая граница Мохо.

При описании этой части разреза [7] отмечается, что развитые в пределах Тагильского синклиниория массивы пород ультраосновного и основного составов в упругом поле не проявляются вследствие применения

региональной системы полевых наблюдений (шаг между пунктами регистрации сейсмических волн составлял около 10 км). В плотностном разрезе

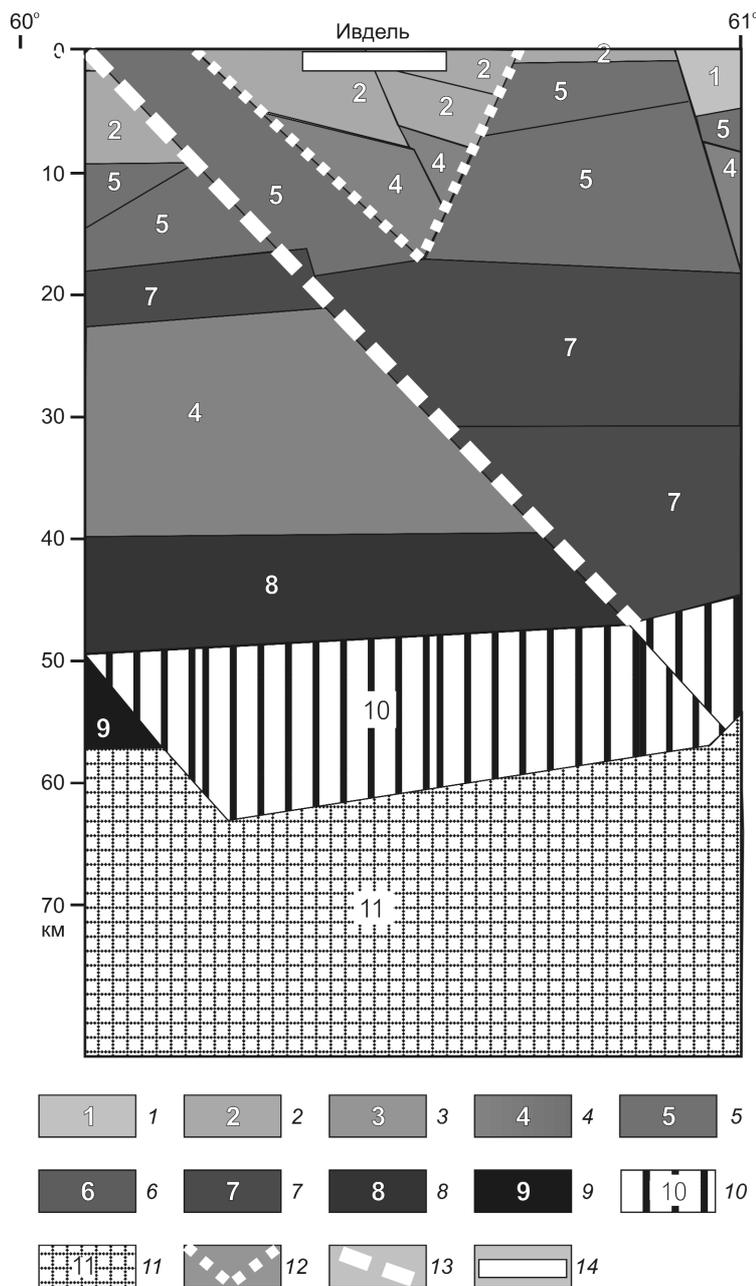


Рис. 4. Фрагмент плотностной модели верхней части литосферы по Красноленинскому профилю ГСЗ, построенной на основе скоростей продольных волн, по [5]:

расчетные плотности выделяемых участков, г/см³: 1 — 2,65–2,70; 2 — 2,70–2,75; 3 — 2,75–2,80; 4 — 2,80–2,85; 5 — 2,85–2,90; 6 — 2,90–3,0; 7 — 3,0–3,05; 8 — 3,05–3,10; 9 — 3,10–3,15; 10 — 3,15–3,20; 11 — 3,35–3,40; 12 — граница перспективного блока; 13 — граница общего блока коры и мантии; 14 — интервал площади, наиболее доступной для поисковых работ

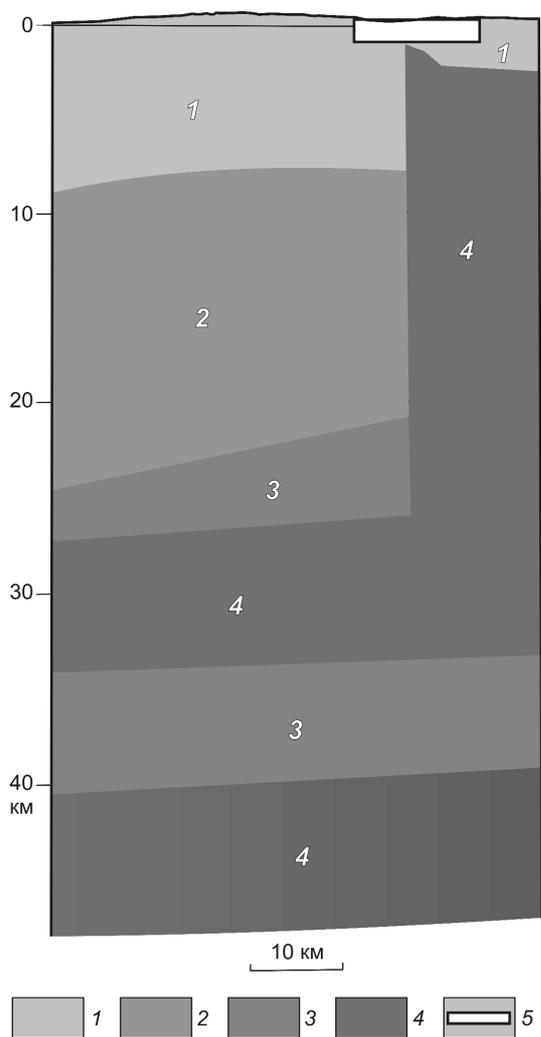


Рис. 5. Фрагмент глубинного плотностного разреза Приполярного Урала по профилю МГЗ Мурманск–Кызыл, по [7]:

расчетные плотности выделяемых участков, г/см^3 : 1 — 2,75–2,79, 2 — 2,85–2,86, 3 — 2,87–2,89, 4 — 2,9–3,08; 5 — границы площади, наиболее доступной для поисковых работ

они маркируются локальными телами с плотностью 2,9–3,0 г/см^3 .

Территория Полярного Урала геофизическими методами изучена в меньшей степени. Недавно Баженовской геофизической экспедицией закончена обработка сейсмических данных МОВ ОГТ Полярно-Уральского трансекта (см. рис. 3). Его изображение было показано на рабочем совещании во ВСЕГЕИ в ноябре 2008 г. (авторы А.В.Рыбалка и др.). Представленный профиль не отличается высокой четкостью, но вполне однозначно отражает глубинную структуру коры и мантии. В значительной

мере она подобна таковой Средне-Уральского трансекта [15]. Здесь также наблюдаются чередования участков слабого и относительно сильного отражения сейсмических волн. Отличие состоит в меньшей упорядоченности чередований и четкости границ участков при некотором преобладании участков слабого отражения, характеризующихся сравнительно низкой плотностью слагаемых их толщ.

Интерпретация геологических и геофизических данных. Прежде чем приступить к интерпретации изложенных выше данных, необходимо коснуться процессов, которые могли происходить при формировании региона в целом и на его отдельных площадях, и посмотреть каким образом они выражаются в геофизических характеристиках геологических образований.

Рассматриваемая территория представляет собой северную часть Уральской складчатой системы, становление и развитие которой обычно связываются с рифтообразованием и орогенезом, вызванными конвекцией мантийного вещества, обуславливающей спрединг и субдукцию океанического дна [6 и др.], или с диапировым подъемом астенолитного слоя [4 и др.]. Вероятнее всего, она формировалась без спрединга и субдукции, так как в пределах Урала отсутствуют неперенные для данных процессов структуры трансформных разломов. Определяющая роль могла принадлежать воде [9], проникающей в мантию по протяженной ослабленной зоне и приводящей к образованию вытянутого в одном направлении мантийного диапира (рис. 6.).

Вода вызывала гидратацию вещества мантии, увеличение его объема и уменьшение плотности, что приводило к всплытию мантийных масс, сопровождающемуся подъемом коровых толщ и их разрывом, образующим субпараллельные рифтогенные структуры (см. рис. 6, А). Подъем диапира сопровождался разуплотнением нижележащего вещества мантии и его декомпрессионным плавлением, обеспечивающим проявление наблюдаемых в регионе типов магматизма.

В центральной, наиболее поднятой, части диапира мантийное вещество в расплавленном и твердом состоянии достигало наиболее высоких уровней разреза земной коры и ее поверхности, тогда как в краевых частях в земную кору поступали в основном гибридные магматические продукты «островодужного» типа, возникающие в результате взаимодействия мантийных масс с веществом коры. Подъем диапира и формирование структур осуществлялись с остановками и перерывами на протяжении длительного времени (от рифея до триаса).

С наступлением периода уменьшения и прекращения активного доступа воды в пределы негидра-

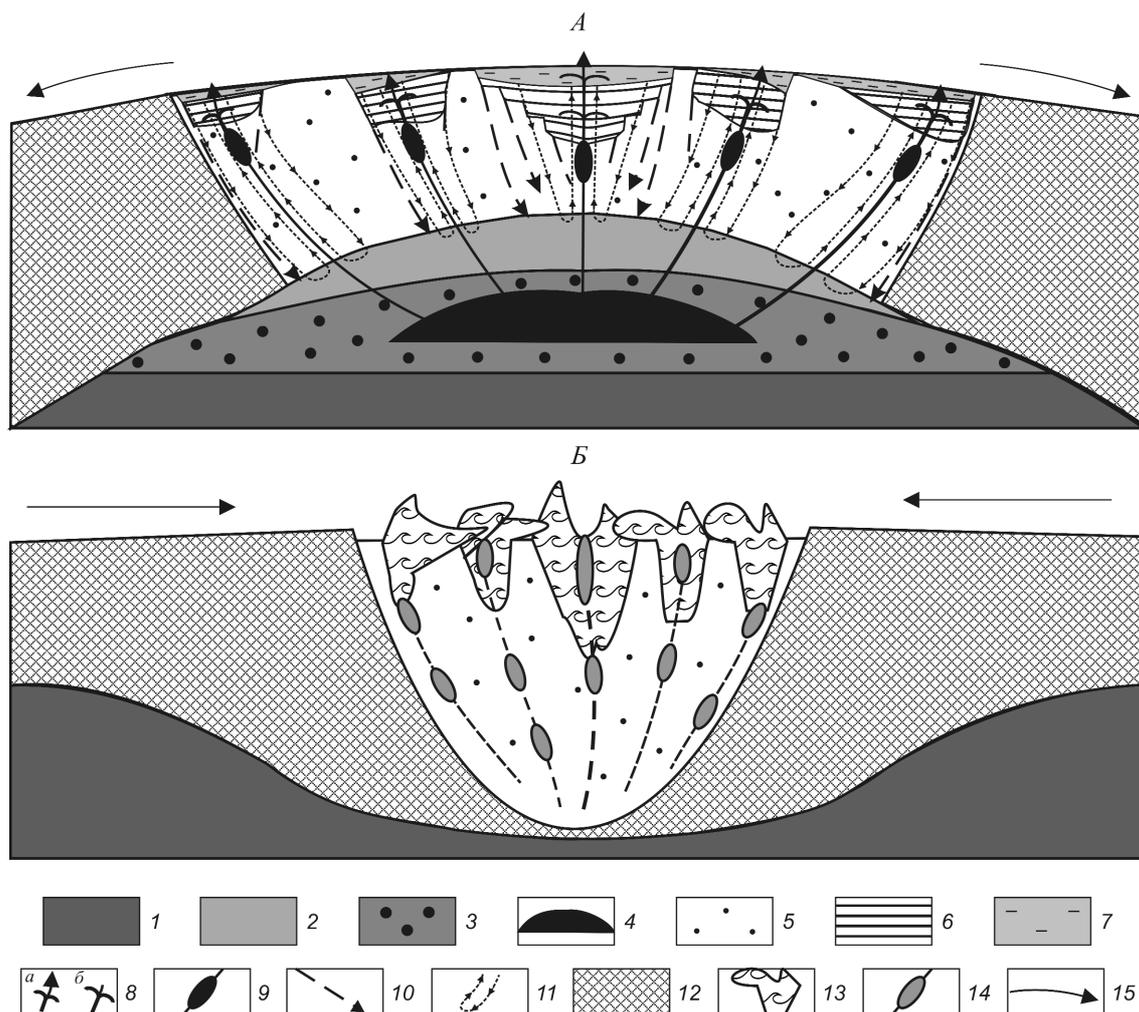


Рис. 6. Схемы формирования и эволюции подвижного пояса уральского типа:

А — стадия подъема мантийного диапира и образования рифтогенных структур; Б — стадия опускания мантийного рестита и сжатия рифтовых структур; вещество мантии: 1 — твердое (исходное), 2 — гидратированное, 3 — частично расплавленное, 4 — расплавленное; 5 — вещество (фундамент) активизированной зоны земной коры; 6 — образования депрессионных (рифтогенных) структур; 7 — вода поверхностных бассейнов; 8 — вулканические постройки (а) и магматические тела (б); 9 — промежуточные магматические очаги и каналы движения магм; 10 — тектонические нарушения и места проникновения воды в мантию; 11 — направления движения конвекционных потоков воды; 12 — континентальная кора; 13 — образования депрессионных структур, подвергшиеся дислокациям (сжатию); 14 — гидратированные блоки вещества мантии (серпентиниты); 15 — направление усилий и движений земной коры

тированной мантии подъем диапира и связанные с ним процессы сначала замедлялись, а затем и полностью прекращались. Начинаясь стадия охлаждения и опускания региональной изотермы 500°C (поднятой во время всплывания диапира). Вместе с изотермой 500°C (граница гидратации-дегидратации мантийного вещества) опускалась и линия Мох, которая в настоящее время в центральной части складчатой системы достигает глубины 50 км [15].

Вынесенный в земную кору гидратированный и расплавленный материал мантии, как и охлаждение мантийного вещества, резко уменьшали объем

остающегося в мантии материала. Это приводило к глубокому погружению (затягиванию в направлении к мантии) сформированных коровых толщ, уменьшению их площади, сжатию, складчатости и наводкам одних толщ на другие (см. рис. 6, Б). Этому же способствовало опускание плотного реститового (оставшегося после выноса легкоплавкой фракции) материала мантии под собственной тяжестью, а также боковое сжатие окружающих континентальных плит.

Рудообразование в регионе было связано с внедрением в земную кору мантийного вещества

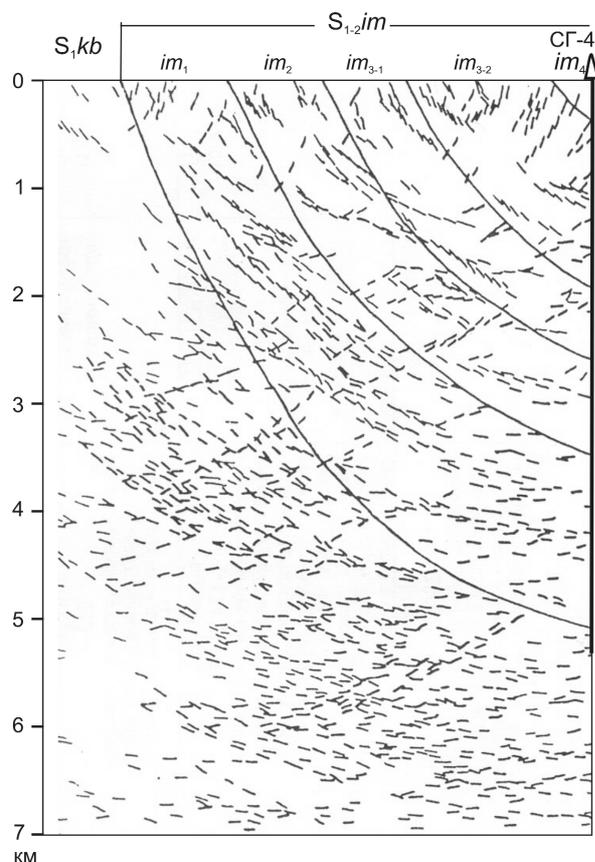


Рис. 7. Сейсмический разрез в профиле скв. СГ-4, по М.Т.Близнецову, цитируется по [1]:

штрихи — площадки отражения продольных сейсмических волн; образования свит: кабанской (S_1kb) и именовской ($S_{1-2}im$)

ультрамафит-мафитового состава и генерируемых им корово-мантийных и коровых магм. Становление мантийного материала сопровождалось образованием первично-магматических месторождений Cr, Ni, ЭПГ и др., а тепловое влияние внедряющихся мантийных и корово-мантийных масс на окружающую среду приводило к формированию экстракционных (флюидно-экстракционных) месторождений Fe, Cu, Zn, Pb, Au, Ag, As, S и др.

Первично-магматические месторождения формировались вследствие дифференциации мантийного вещества при его плавлении, внедрении и кристаллизации, сопровождаемой концентрацией рудных компонентов. Они характерны для центральных (осевых) частей мантийного диапира, достигающих наиболее высоких уровней подъема мантийных масс. Непосредственно первично-магматические месторождения ассоциируют с интрузивными телами мафит-ультрамафитового ряда, которые

в неизменном виде отличаются сравнительно высокими значениями плотности и магнитности.

Образование месторождений флюидно-экстракционного типа обусловлено экстракцией и концентрацией водными растворами рудных компонентов вещества осадочно-вулканогенных толщ под термическим воздействием внедряющихся магматических масс [8] и влиянием тепловой энергии процессов гидратации ультрабазитов (последнее происходит и при спрединге океанического дна, как это наблюдается в настоящее время в поле Рейнбоу Срединно-Атлантического хребта, где проявляется активное действие черных курильщиков [10]). Кроме того, экстракционное рудообразование могло осуществляться вследствие движения (циркуляции) растворов от общего диапира мантии и региональной изотермы 500°C до верхнего замыкания циркуляционной ячейки (или дна водного бассейна) и обратно (см. рис. 6, А). Самым подходящим местом для образования всех этих месторождений являлись «островодужные» формации, как наиболее доступные для проникновения и циркуляции водных растворов и благоприятные для экстракции и концентрации рудных веществ.

Большинство месторождений данного типа, формировавшихся с участием воды и ее растворов, располагаются в блоках пониженных плотностей (см. рис. 3), которые могли представлять собой «каналы» восходящих потоков циркуляционных ячеек. А те из них, что находятся в блоках повышенной плотности, в действительности также локализируются в разуплотненных породах, которые из-за сравнительно небольших занимаемых площадей не фиксируются геофизическими методами рассматриваемого масштаба.

Возможности опознания геофизическими методами мест, благоприятных для рудообразования. Блочная неоднородность плотностных свойств земной коры Урала (см. рис. 3) в значительной мере могла быть обусловлена различной степенью гидратации (гидротермального метаморфизма) коровых толщ, осуществляемой при движении водных растворов вокруг тепловых источников по циркуляционным («блочным») ячейкам и в процессе рудоотложения. Все эти преобразования влияют на скорость сейсмических волн и отчетливо фиксируются геофизическими методами [2]. В естественных разрезах, кроме снижения плотности пород, гидратация вызывает исчезновение сейсмических границ осадочно-вулканогенных толщ и уменьшение четкости ориентировки и количества отражающих площадок (рис. 7).

На разрезе южной (ивдельской) части рассматриваемой площади (см. рис. 7) наиболее доступный

для поисковых работ треугольный участок до глубины 5–8 км состоит из физически монотонной толщи пониженной плотности (2,70–2,75 г/см³). Различные по составу осадочно-вулканогенные образования толщи относятся к так называемому «островодужному» типу. Для них характерны экстракционные месторождения цветных и благородных металлов. Физическая гомогенизация в столь объемных масштабах могла быть вызвана в основном региональной и локальной (под воздействием интрузивных тел) гидратацией слагающих их минералов и пород, подобно тому, как это свойственно разрезу именновской и кабанской свит в районе сверхглубокой скважины СГ-4, межслоевые границы которых геофизически не фиксируются (см. рис. 7). Следовательно, ивдельская часть рассматриваемой площади является перспективной на обнаружение месторождений цветных и благородных металлов.

Средняя (Приполярная) часть выделенной площади характеризуется сейсмическим разрезом по профилю МГЗ Мурманск–Кызыл (см. рис. 5). Здесь, как и на предыдущем разрезе, рассматриваемая территория до глубины 8 км находится в участке гомогенной пониженной плотности (2,74–2,75 г/см³), по-видимому, также связанной с массовой гидратацией пород, сопровождающейся рудообразованием. Поэтому данный участок перспективен на обнаружение экстракционных месторождений цветных и благородных металлов.

Северная (Полярная) часть выделенной территории, как следует из представленного А.В.Рыбалка и др. разреза Полярно-Уральского трансекта (2008 г.), располагается над осветленным участком с небольшим количеством отражающих площадок. Это также связывается с массовым преобразованием толщ — физической гомогенизацией пород, вызываемой их гидратацией и сопровождаемой рудообразованием. Следовательно, и на данном участке имеются перспективы открытия месторождений цветных и благородных металлов.

Территория в целом характеризуется плотностными данными по объемным блокам (см. рис. 3). Видно, что она включает участки различной плотности (от 2,6 до 3,2 г/см³). Участки с пониженной плотностью (от 2,7 до 2,84 г/см³) преобладают и перспективны на коровые флюидно-экстракционные месторождения цветных и благородных металлов, высокоплотные блоки перспективны на мантийные первично магматические месторождения хромитовых и платиновых руд.

Таким образом, геофизические (прежде всего сейсмические) методы позволяют выделять участки, перспективные на обнаружение месторождений цветных и благородных металлов.

Районирование площади, наиболее доступной для поисковых работ. В пределах рассматриваемой территории можно выделить три металлогенические категории — провинцию, зону и районы.

В качестве провинции принимается общая площадь Северного, Приполярного и Полярного Урала — Северо-Полярная часть Уральской складчатой системы, на которой показаны места нахождения известных месторождений и рудопроявлений цветных и благородных металлов (см. рис. 3). Преобладающая часть коровых флюидно-экстракционных месторождений и рудопроявлений приурочена к осветленным участкам пониженной плотности (2,6–2,8 г/см³), а мантийных первично-магматических — к темным участкам повышенной и высокой плотности (2,85–3,0 г/см³).

В пределах провинции выделяется восточная перспективная зона, перекрытая мезокайнозойским осадочным чехлом мощностью от 0 до 400 м (см. рис. 3). Она располагается в различных плотностных блоках, но большая ее часть находится в светлых участках пониженной плотности (2,7–2,85 г/см³), перспективных на обнаружение флюидно-экстракционных месторождений цветных и благородных металлов.

Перспективными районами на флюидно-экстракционные месторождения являются интервалы зоны, обладающие пониженной плотностью (2,7–2,85 г/см³), а на первично-магматические — повышенной (>2,85 г/см³) и, в первую очередь (в обоих случаях), имеющие наименьшую мощность осадочного чехла. Важна также ширина перспективного участка зоны, зависящая от степени увеличения мощности чехла. К первоочередным перспективным районам относятся участки, помеченные римскими цифрами (см. рис. 3).

Итак, на основании изложенного можно сделать следующие выводы.

Анализ процессов формирования региона и условий образования рудных объектов позволяет судить о физических свойствах рудоносных формаций и исходя из этого использовать геофизические данные для выявления перспективных площадей и оценки их потенциальных ресурсов.

Основные ресурсы цветных и благородных металлов в закрытых чехлом восточных районах Северного, Приполярного и Полярного Урала находятся в пределах наиболее доступной для поисковых работ зоне осадочно-вулканогенных («островодужных») образований, перекрытых мезокайнозойскими отложениями мощностью от 0 до 400 м.

К первоочередным перспективным районам относятся шесть выделенных участков, отличающихся благоприятными геофизическими характеристиками

и наибольшей площадью (шириной) интервала изогипс 0–400 м. В их пределах на первично-магматические месторождения (МПГ, Ni, Cu, Cr, Ti) перспективны блоки повышенной плотности, а на флюидно-экстракционные (Cu, Pb, Zn, Au, Ag) — пониженной.

Для конкретных оценок рудных ресурсов и выделения перспективных площадей требуется постановка более детальных геофизических работ и, прежде всего микросейсмических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Башта К.Г., Марченко А.И.* К проблеме геолого-структурной интерпретации результатов бурения уральской СГ-4 и увязки сейсмических данных // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль. 1999. Вып. 5. С. 361–369.
2. *Баяк Е.И., Волярович М.П., Пархоменко Э.И., Салехли Т.М.* Влияние процессов серпентинизации на упругие и электрические свойства при высоких давлениях у ультраосновных пород зоны офиолитовой формации Малого Кавказа // Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., 1978. С. 48–58.
3. *Золотоносность Урала* (объяснительная записка к карте Коренной золотоносности Урала м-ба 1:1 000 000) / Н.К.Курбанов, П.С.Ревякин, П.Г. Кучеровский и др. — М.: ЦНИГРИ, 2005.
4. *Каретин Ю.С.* Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. — Екатеринбург: УрО РАН, 2000.
5. *Карта доюрских вещественных комплексов северо-западной части Западно-Сибирской равнины на основе объемной модели земной коры* / В.С.Дружинин, В.В.Колмогорова, Н.И. Начапкин и др. // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 104–112.
6. *Коротеев В.А., Сазонов В.Н., Огородников В.Н.* Рудогенез и геодинамика в палеозойской истории Урала // Литосфера. 2001. № 1. С. 52–63.
7. *Костюченко С.Л., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н.* Особенности строения литосферы Урала по результатам многоволнового глубинного сейсмического зондирования // Геотектоника. 1998. № 4. С. 3–18.
8. *Кривцов А.И.* Обстановки и условия древнего и современного колчеданообразования // Геология рудных месторождений. 1987. № 3. С. 3–17.
9. *Лихачев А.П.* Возможности проявления рудообразующих процессов при формировании и эволюции земной коры // Отечественная геология. 2009. № 3. С. 22–33.
10. *Новый тип современной минералообразующей системы: «черные курильщики» гидротермального поля 14°45' с.ш., Срединно-Атлантический хребет* / Ю.А.Богданов, Н.С.Бортников, И.В.Викентьев и др. // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 1. С. 68–90.
11. *Петрогенезис и возраст вулканических образований именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0–4617 м)* / А.Г.Гурбанов, С.Н.Бубнов, Ю.В.Гольцман и др. // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Ярославль, 1999. Вып. 5. С. 132–168.
12. *Подлесский К.В.* Скарны и околорудные метасоматиты железорудных месторождений Урала и Кавказа. — М.: Наука, 1979.
13. *Пучков В.Н.* Важнейшие закономерные и индивидуальные черты геологической эволюции Урала и сопредельных территорий // Литосфера. 2001. № 1. С. 15–31.
14. *Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4)* // Сб. науч. трудов. Ярославль, 1999. Вып. 5.
15. *Рыбалка А.В., Каиубина Т.В., Петров Г.А., Каиубин Н.С.* Среднеуральский трансект: новые данные по глубинному строению Урала // Модели земной коры и верхней мантии. СПб., 2007. С. 186–191.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ



УДК 622.342.1 (85)

© А.Б.Сорокин, 2010

ОРИГИНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОТРАБОТКИ РОССЫПЕЙ В ПЕРУ

А.Б.Сорокин (НИИ «Зарубежгеология»)

Описан старательский метод эксплуатации россыпи Антониета, оптимальный для местных горных условий. Показано, что организация крупного обогаительного предприятия связана с проблемой дефицита воды и необходимостью уточнения бурением мощности рыхлых отложений продуктивной толщи.

Сорокин Александр Борисович, sorokin57@bk.ru

ORIGINAL TECHNIQUE OF THE PLACER MINING IN PERU

A.B.Sorokin

A digger-style placer mining method is described; as demonstrated, it is optimum for the economic conditions existing in the Antonietta placer area. Large regular mining enterprise could have caused the water supply shortages; besides, an additional drilling program was needed in this case to contour productive unconsolidated deposits.

Россыпное месторождение золота Антониета (округ Альто-Инамбари, провинция Сандиа, департамент Пуно, юго-восток Перу) находится на восточном склоне Анд с высотами от 1200 до 2000 м над уровнем моря, между реками Чунчусмайо и Сан-Хуан (рис. 1). Последние являются правыми притоками р. Уари-Уари, которая в нижнем течении называется Инамбари и впадает в р. Мадре-де-Диос.

В геологическом строении района участвуют плиоценовые отложения формации Титан, представленные валунно-галечным материалом с песчано-гравийно-глинистым заполнителем (рис. 2), лежащие на палеозойских породах. Размеры отдельных валунов достигают 1,5×1,0×1,0 м; большая их часть сосредоточена в нижней части разреза. В составе галечного материала преобладают кварциты, реже интрузивные породы кислого состава. Мощность валунно-галечных отложений 20–100 м. Выше они перекрываются современными суглинками с редкой галькой мощностью до 3 м. Плотик сложен терригенной толщей кембрийского возраста (песчаники, алевролиты, кварциты) черного цвета (рис. 3).

Практически весь разрез валунно-галечных отложений слабо золотоносен. Содержание золота коррелируется с количеством валунов в разрезе. Если в верхней части толщи, где количество валунов 1–3%, содержания Au не превышают 100 мг/м³, то в нижнем, валунистом, горизонте они составляют 400–540 мг/м³, а в приплотиковой части разреза до 2,6 г/м³. Средневзвешенное содержание Au в про-

дуктивной толще 240 мг/м³, что подтверждается результатами старательской отработки.

Особенно интересен метод добычных работ, выполняемых местными старателями. Метод



Рис. 1. Местоположение месторождения Антониета



Рис. 2. Валунно-галечные отложения с прослоем гравелитов, стенка старательского карьера



Рис. 3. Сбор концентрата из канала «кочасо», на заднем плане — стенка карьера



Рис. 4. Укладка канала «кочасо»

эксплуатации россыпи, отработанный в течение столетий, называется «кочасо» и является оптимальным для местных сложных горных условий. Первая операция состоит в рыхлении исходных песков, для чего проводятся взрывные работы. В

основании валунно-галечного горизонта на расстоянии до 6 м вручную проходятся небольшие штольни, в которые закладывается взрывчатка. Подготовленный взрывом материал располагается в начальной части каменного канала шириной



Рис. 5. Проведение «кочасо» в действующем карьере

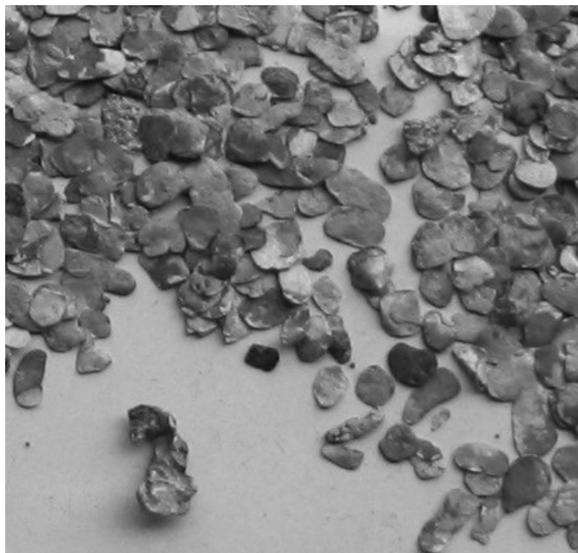


Рис. 6. Золото месторождения Антониета, сьем канала «кочасо» 20.09.2004 г.

2–2,2 м, на дне которого вертикально устанавливаются плоские камни. Между камнями для лучшего улавливания золота укладывается трава — «саггизо» (рис. 4). Вода для промывки поступает из притоков р. Чунчусмайю по каналам длиной до 5 км в резервуары, расположенные на поверхности террасы Антониета. При промывке открывается шлюз. Вода выпускается с высоты до 60 м, размывая подготовленный материал продуктивной толщи (рис. 5). Образуется селевой поток пульпы, движущийся по каналу со скоростью до 2 м/с. Глубина потока составляет 20–40 см. Производится несколько операций «сочазос» в день, в зависимости от количества воды. Хвосты промывки сбрасываются в р. Чунчусмайю.

Золото в канале накапливается в течение 25–26 дней, после чего материал со дна канала собирается и промывается в металлическом желобе (см. рис. 3). Операция съема занимает несколько дней. Полученный шлик доводится на батиаесе (местном

лотке), в нем же производится амальгамация. Амальгама отжигается до золота.

Золото в основной массе хорошо окатано, имеет листоватую и чешуйчатую формы (рис. 6). Отмечаются единичные сростки золота с кварцем. Практически половина золотин имеет «рубашку» оксидов железа, что затрудняет процесс амальгамации.

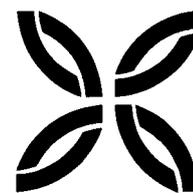
По результатам опробования золото распределяется по размерности следующим образом, %: >2 мм — 7,7, -2+1 мм — 34,1, -1+0,5 мм — 40,7, -0,5+0,2 мм — 16,3 и -0,2 мм — 1,2. Данные ситового анализа золота с каналов «кочасо» показывают следующее распределение металла по фракциям, %: >2 мм — 12,2, -2+1 мм — 37,6 <1 мм — 50,2. Если принять, что золото размерностью +1 мм старатели улавливают полностью, по расчетам они теряют до 16% Au размерностью -1 мм.

Необходимо отметить высокую степень литификации обогащенных нижних горизонтов валунно-галечных отложений. Если при разработке верхних горизонтов достаточно предварительно разрыхлить пески, то для отработки нижней пачки необходимо проведение взрывных работ. Большое содержание валунов размером от 0,2×0,4 до 0,8×1 м (до 50%) также — осложняющий фактор как для работы горной техники, так и обоганительного оборудования.

Для организации крупного обоганительного предприятия проблемой является дефицит воды, которую необходимо подавать из р. Уари-Уари на высоту около 400 м, и отсутствие значительных площадей для создания отстойников.

При подсчете прогнозных ресурсов, проводившемся предыдущими исследователями, ошибочно распространено значение видимой мощности продуктивной толщи (50 м) на всю ее площадь. По нашим наблюдениям, цоколь террасы (породы плотика) в центральной ее части поднят, и мощность рыхлых отложений составляет всего 15–20 м. Без буровых работ невозможно сделать вывод об истинных мощностях продуктивной толщи и, следовательно, о запасах.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



6 июня 2010 г. исполнилось 75 лет **Григорию Михайловичу Гейшеру** — кандидату геолого-минералогических наук, научному редактору журнала «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление».

После окончания в 1958 г. геологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова Г.М.Гейшер в должности инженера участвовал в морской экспедиции ВНИИГеофизика Мингео СССР, выполнявшей гравиметрические съемки на подводных лодках по Программе Международного геофизического года в Беринговом и Охотском морях и в Тихом океане.

С 1960 г. в научно-исследовательском секторе геологического факультета МГУ преподавал на кафедре геофизики и занимался интерпретацией геолого-геофизических материалов, полученных в различных регионах страны, в частности в Западной Сибири и на Сахалине.

В 1963 г. перешел на работу в НИЛнефтегаз (впоследствии ВНИИЗарубежгеология), где в должности начальника гравимагнитного отряда Кизлярской геофизической партии проводил геофизические исследования на нефть и газ в Дагестане. На основе полученных полевых материалов подготовил и защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

С 1972 г. по ноябрь 1990 г. работал в ВИЭМС Мингео СССР заместителем заведующего сектором, старшим научным сотрудником и заведующим отделом по подготовке и выпуску отраслевых информационных изданий, информационному обеспечению исследований по всем направлениям геологической науки и практики.

Его большой опыт редакционно-издательской деятельности позволил в 1990 г. организовать издательский центр МГП «Геоинформмарк», в котором по август 2003 г. Г.М.Гейшер — генеральный директор. Продукцией Геоинформмарка стали многочисленные научные монографии по различным проблемам геологической науки, справочники, информационные издания, мемуарная литература, журналы «Геология нефти и газа» и «Минеральные ресурсы. Экономика и управление».

Более 50 лет жизни связывают юбиляра с геологической службой страны. На всех этапах трудовой деятельности Г.М.Гейшера отмечались высокая ответственность за порученное дело, дружеское и внимательное отношение к коллегам по работе и молодым специалистам. Результаты его научных исследований опубликованы в различных геологических изданиях. За успехи в работе он награжден Почетной грамотой Роснедр.

Дорогой Григорий Михайлович! От всей души поздравляем Вас с 75-летием, желаем здоровья, счастья, успехов и удач в дальнейшей работе.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Дирекция ЦНИГРИ
Редколлегия и редакция журнала*



26 июля 2010 г. исполнилось 70 лет заведующему отделом охраны труда **Игорю Николаевичу Кочерову**.

И.Н.Кочеров начал свою трудовую деятельность пятьдесят лет назад. После окончания техникума работал в экспедиции Всесоюзного аэрогеологического треста. Занимался геологической съемкой м-ба 1:200 000 в Прикаспии. В 1961–1963 гг. служил в армии. В 1963 г. поступил на геофизический факультет МГРИ. С 1964 г., продолжая учебу, работал в Гидроспецгеологии на Семипалатинском полигоне. Участвовал в инженерно-геологических и геофизических работах, обеспечивающих проведение подземных ядерных испытаний. С 1972 г. руководил геофизическими работами Гидроспецгеологии, в 1975 г. в должности главного инженера — геофизическими исследованиями в Монголии.

С 1980 г. работает в ЦНИГРИ в должности главного инженера, обеспечивая техническое вооружение научно-исследовательских, в том числе полевых, работ,

охрану труда. Осуществлял реконструкцию электросетей, вентиляции, лифтового оборудования, проводил обновление станочного и транспортного парка института и его филиалов. Внес большой вклад в организацию и безопасное проведение полевых работ ЦНИГРИ, создание полевых баз в Магадане, Семипалатинске, Зарафшане. Возглавлял Учебный центр ЦНИГРИ по охране труда. Под его руководством создана и введена в действие инженерная система защиты информации. В составе экспертных групп МПР РФ и ЦНИГРИ выполнял экспертно-консультативные работы в 1996 г. в Монголии, а в 1999 г. в Сирии.

С 2002 г. возглавляет отдел охраны труда, где проводятся обучение, проверка знаний правил безопасности у персонала института с применением тренажеров, макетов, компьютерных программ и других технических средств.

За многолетние трудовые достижения награжден медалями «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы», знаком «Отличник разведки недр», памятным знаком «65 лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Поздравляем Игоря Николаевича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших успехов в труде.

*Дирекция ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

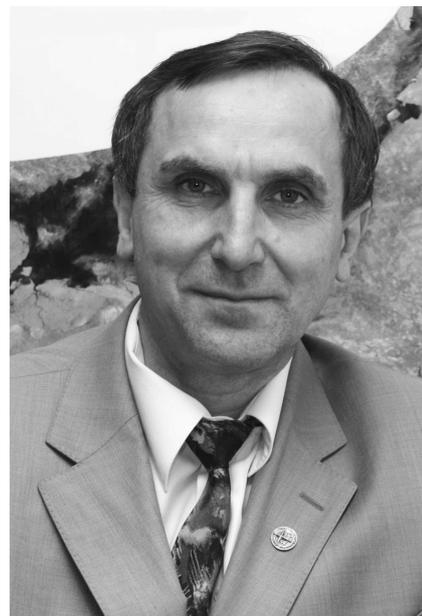
14 июля 2010 г. исполнилось 60 лет видному геологу и организатору региональных и научно-исследовательских работ, заместителю руководителя Федерального агентства по недропользованию **Андрею Федоровичу Морозову**. Родился он в семье известных геологов, и с юношеских лет приобщался к геологии. В период школьных каникул работал на геологической съемке, освоил профессии промывальщика, радиометриста, пробоотборщика.

Продолжая семейные геологические традиции, после окончания в 1967 г. с серебряной медалью школы А.Ф.Морозов поступил на геологоразведочный факультет Иркутского политехнического института. В 1970 г. был переведен в Московский государственный университет на геологический факультет, который окончил в 1973 г. Все последующие этапы его трудовой деятельности связаны с региональными геологоразведочными работами, начиная с работы в научно-исследовательском секторе МГУ. В эти годы он защитил кандидатскую диссертацию по теме «Палеозойский вулканизм в Тагильском прогибе (Урал)».

Приступив в 1980 г. к работе в Полярно-Уральской экспедиции в должности главного геолога партии, А.Ф.Морозов благодаря знаниям, полученным в университете, упорству и огромному трудолюбию успешно продвигался по служебной лестнице, занимая последовательно должности начальника партии, главного геолога экспедиции, а с 1984 г. — начальника экспедиции. Будучи начальником партии, составил и защитил четыре отчета по ГДП-50, общим и детальным поискам и поисково-оценочным работам на цветные и благородные металлы на Полярном Урале. За это время он приобрел богатый опыт поисков, оценки и разведки месторождений цветных, благородных и черных металлов, строительных материалов, подземных вод, а также по производству региональных геологических исследований, геофизических и геохимических работ.

А.Ф.Морозов — высококвалифицированный специалист в области региональной геологии, внесший значительный вклад в организацию и развитие методов регионального изучения территории России. С 1988 г. по настоящее время руководит региональными работами сначала в Управлении региональной геологии и поисково-съёмочных работ Министерства геологии СССР, затем в подразделениях Госкомгеологии России, Роскомнедра и МПР России. В 2004 г. в связи с созданием Федерального агентства по недропользованию назначается заместителем руководителя Агентства, в основные обязанности которого входит организация регионального изучения территории России.

Реализуя предусмотренные программы регионального изучения территории России мероприятия, А.Ф.Морозов через систему подведомственных предприятий обеспечил организацию и производство государственных геологических съемок крупного, среднего и мелкого масштабов, сводного и обзорного картографирования, геофизических, геохимических и дистанционных исследований, работ специального геологического назначения, работ по накоплению и обеспечению доступа к геологической информации, глубинного геологического прогнозирования, прогнозно-минерагенических исследований, работ по прогнозу и мониторингу опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов и явлений, морских геологических съемок на шельфах России, в Арктике и Антарктике и работ по обоснованию внешней границы континентального шельфа. Координация деятельности геолого-съёмочных экспедиций и предприятий, выполняющих региональные геологические исследования по всей территории России, осуществляется специально созданной по инициативе начальника Красноярской геолого-съёмочной экспедиции М.Л.Кавицкого и А.Ф.Морозова Ассоциацией руководителей геолого-съёмочных предприятий.



Именно такая форма организации и объединения геолого-съемочных предприятий предопределила успешную реализацию сложнейших задач по составлению Государственной геологической карты территории России.

А.Ф.Морозов внес значительный вклад в развитие международного геологического сотрудничества как представитель российской геологической школы в различных международных геологических программах, семинарах, совещаниях, конгрессах, встречах и совместных проектах со странами ближнего и дальнего зарубежья. Все эти мероприятия отличали общность интересов и взаимное стремление участников сблизить «геологические позиции», продемонстрировать достижения геологических служб различных стран, создать условия для взаимовыгодного сотрудничества, способствовать росту авторитета Российской геологической службы на международном уровне.

Нельзя не отметить также активную поддержку А.Ф.Морозовым детско-юношеского геологического движения, организацию и проведение открытых олимпиад (слетов) юных геологов как основы формирования и подготовки кадров — будущих специалистов геологов. В таких олимпиадах участвуют сотни школьников, объединенных в команды, представляющие практически все регионы России, а также ближнего и дальнего зарубежья.

А.Ф.Морозов как ученый и специалист является одним из основных идеологов и разработчиков новой научно-методической и технологической базы всех работ по геологическому изучению недр, которая сейчас уже апробирована на производстве и широко применяется. Под его научным руководством и редакцией (как главного и (или) ответственного редактора) и при прямом участии (соавторстве) разработаны и опубликованы научно-методические руководства (несколько серий — общегеологическая, минерагеническая, компьютерного сопровождения, поисковая и др.) и аналитические обзоры (по региональной геологии, строению земной коры, минерагеническому потенциалу недр России и др.).

За достигнутые успехи в геологическом изучении территории страны и развитии ее минерально-сырьевой базы А.Ф.Морозову присуждено почетное звание «Заслуженный геолог Российской Федерации». Он награжден «Орденом Почета», медалями «300 лет Российскому флоту», «В память 850-летия Москвы», «За укрепление боевого содружества», является Почетным разведчиком недр, имеет много других отраслевых наград. А.Ф.Морозов — действительный член Российской академии естественных наук, Академии горных наук, Международной академии минеральных ресурсов.

Поздравляем Андрея Федоровича с 60-летием, желаем крепкого здоровья, долголетия, дальнейших успехов в работе.

*Коллегия Роснедра
Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

15 августа 2010 г. исполнилось 75 лет кандидату геолого-минералогических наук, ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ **Игорю Яковлевичу Польшивянному**.

После окончания Казахского государственного университета И.Я.Польшивянный с 1957 по 1971 гг. работал в Алтайском отделе Института геологических наук им. К.И.Сатпаева АН КазССР. Изучал вещественный состав рудовмещающих формаций Рудного Алтая на основе опорных геологических разрезов. Участвовал в составлении геологической карты центральной части Кедровско-Бутачихинской зоны к подсчету запасов Тишинского месторождения м-ба 1:10 000, карты прогнозов на полиметаллы, медь, железо и редкие металлы Лениногорского района. В результате были уточнены стратиграфические уровни локализации полиметаллического оруденения, разработаны критерии поисков и рекомендации по направлениям геологоразведочных работ, завершившихся обнаружением новых рудных объектов.

Итоги работ по изучению опорных геологических разрезов, обобщенные в книге «Стратиграфия, биостратиграфия и фации палеозоя Юго-Западного Алтая», послужили основой составления литолого-палеогеографических карт различных масштабов, вошли в Атлас литолого-палеогеографических карт СССР под редакцией А.П.Виноградова.

В 1969 г. И.Я.Польшивянный защитил кандидатскую диссертацию.

С 1971 по 1980 гг. работал в Казахском институте минерального сырья. В должности ученого секретаря обеспечивал подготовку планов научно-исследовательских работ института, их согласование с головным НИИ и Мингео СССР. Участвовал в разработке методов крупномасштабного прогнозирования на полиметаллы на территории Северо-Западной зоны Рудного Алтая, изучал закономерности размещения меденосных формаций и основных промышленных месторождений меди Казахстана.

С 1981 г. И.Я.Польшивянный работает в ЦНИГРИ. В целях усовершенствования научно-организационной работы совместно с руководителями функциональных подразделений разработал комплексную систему управления и обеспечения НИР института.

В течение 27 лет, будучи ученым секретарем ЦНИГРИ и ученым секретарем Ученого совета института, участвовал в формировании планов научно-исследовательских и геологоразведочных работ, руководил составлением координационных планов научных исследований отраслевых НИИ по алмазам, благородным и цветным металлам, готовил документацию для участия в конкурсах и заключения государственных контрактов на выполнение НИР и ГРР, организовывал подготовку сводных отчетов о результатах научно-производственной деятельности института и его периферийных подразделений, информационное обеспечение использования создаваемой научно-технической продукции и внедрение научных достижений института в геологоразведочное производство.

За заслуги в научно-производственной деятельности в области геологии И.Я.Польшивянный награжден знаком «Отличник разведки недр», удостоен звания «Почетный разведчик недр». Высокий профессионализм, трудолюбие, принципиальность, требовательность к качеству выполняемой работы, отзывчивость и внимание к сотрудникам снискали ему авторитет и уважение коллектива института.

Поздравляем Игоря Яковлевича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия, творческих успехов!



*Дирекция ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*