

РУДОНОСНЫЙ КАРСТ МЕЗОЗОЙСКОГО ВОЗРАСТА ВОРОНЦОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ

А.Г.Баранников

ФГБОУ ВПО Уральский государственный горный университет,
г. Екатеринбург

**О.Б.Азовская,
М.Ю.Ровнушкин**

Институт геологии и геохимии УрО РАН,
г. Екатеринбург

**А.А.Готтман,
И.В.Смагин**

ЗАО «Золото Северного Урала»,
г. Краснотурьинск

Приведена обобщённая характеристика геологического строения Воронцовского золоторудного месторождения, обосновывающая полигенный и полихронный генезис объекта. Рассмотрены литолого-минералогические особенности рудовмещающих пород карстового заполнения. На основе данных разведочных пересечений описана морфология рудоносных залежей. Отмечено, что субгоризонтальные залежи окисленных руд в зонах карста во многих случаях являются логическим продолжением скальных рудных тел. Рассмотрены вопросы типоморфизма и типохимизма самородного золота, «свежего» (новообразованного) пирита из глинистых образований зоны карста и аргиллизитов. Предложена модель формирования оруденения гипогенно-гипергенного типа, позволяющая с новых позиций подходить к оценке золотоносности территорий в областях развития мезозойского заполненного карста.

Ключевые слова: самородное золото, мезозойский карст, субгоризонтальные залежи, руды, аргиллизиты, пирит.

Воронцовское золоторудное месторождение расположено на восточном склоне Северного Урала в 12 км южнее г. Краснотурьинск. В региональном плане находится в восточной части Тагильского мегаблока в зоне влияния Серовско-Маукского глубинного разлома. Район является составной частью ранне-среднедевонского вулканоплутонического пояса, характеризующегося широким развитием андезит-гранитоидных ассоциаций. Его породы образуют вулканотектоническую депрессию (грабен-синклиналь) протяжённостью ~35 км при ширине 18 км. Указанная структура выполнена вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами с линзами известняков, объединёнными в краснотурьинскую свиту (D_1kr). В металлогеническом отношении месторождение входит в состав Турь-

инско-Ауэрбаховского рудного района Краснотурьинской рудной зоны. Геологическая позиция месторождения отражена на карте рудного района, приведённой в ряде публикаций [5, 8]. К области контакта карбонатных пород краснотурьинской свиты с Ауэрбаховской интрузией габбро-диорит-гранодиоритового состава приурочены многочисленные скарновые магнетитовые, медно-магнетитовые месторождения и проявления с повышенной золотоносностью. С ними сопряжена жильная золото-сульфидно-кварцевая минерализация, давшая начало формированию многочисленных россыпей золота широкого возрастного диапазона (от J_{2-3} до Q_{3-4}).

Воронцовское месторождение открыто в 1984 г. Б.А.Гладковским и В.И.Кравченко при полевой оценке карстовой зоны в районе старой

золотодобывающей шахты «Надежда», расположенной в западном экзоконтакте Ауэрбаховской интрузии. Геологоразведочными работами установлено, что оруденение связано с минерализованными зонами дробления и рассланцевания (скальные руды), а также окисленными рудами в зонах глубокого заполненного карста [4]. На долю последних приходится значительная часть разведанных запасов золота. С 1999 г. началось промышленное освоение месторождения открытым способом с последующей переработкой методом кучного (окисленные руды) и чанового (скальные руды) выщелачивания. За первый десятилетний период эксплуатации преимущественно из окисленных руд добыто >30 т золота и 20 т серебра (данные ЗАО «Золото Северного Урала», приведённые в средствах массовой информации). Однако запасы этих высокотехнологичных руд почти исчерпаны. В то же время многие вопросы формирования промышленных скоплений золота в областях развития карстовых зон остаются до конца не исследованными. Геологический материал, собранный за два десятилетия промышленного освоения месторождения и его доразведки, позволяет с иных позиций подходить к интерпретации генезиса окисленных руд, чем это освещено в публикациях [5, 11, 15].

Воронцовское месторождение входит в состав Песчанско-Воронцовского рудного поля. Находится в 1,2 км западнее Ауэрбаховского массива. Тяготеет к крылу моноклиальной пологопадающей на запад структуры, сложенной вулканогенно-осадочными породами краснотурьинской свиты. В составе последней снизу вверх выделены толщи – фроловско-васильевская (мощностью до 1200 м), башмаковская (до 150 м), богословская (до 220 м). Фроловско-васильевская толща сложена серыми, светло-серыми органогенно-обломочными мраморизованными известняками с маломощными прослоями туфопесчаников и туфоалевролитов. Важнейший элемент толщи – горизонт брекчированных известняков, в пределах которого локализована значительная часть рудных тел. Горизонт отражает эпоху существенного обмеления морского бассейна, фаціальную совмещённость туфогенно-осадочных и карбонатных пород, фиксацию в геологическом разрезе континентального перерыва. Располагающиеся выше со стратиграфическим несогласием вулканогенно-осадочные

породы башмаковской толщи представлены тонкопереслаивающимися туффитами (кремнистыми, известковистыми), туфопесчаниками, кристаллолитокластическими туфами андезитов, андезибазальтов. Перекрывающая разрез богословская толща обнаружена на северном и южном флангах месторождения. Сложена кристаллотуфами, агломератами андезитового и андезибазальтового составов, кремнистыми туфопесчаниками с линзами известняков. В основаниях башмаковской и богословской толщ развиты экструзивные купола андезидацитов, приуроченные к синвулканическим разломам, ограничивающим проявленную на площади рудного поля кольцевую кальдерную просадку. С экструзивными телами пространственно связано скарново-магнетитовое оруденение.

Отложения краснотурьинской свиты на месторождении разбиты многочисленными дайками (рис. 1, в) преимущественно среднего и основного составов (от долеритов и габбродолеритов до диорит- и кварц-диорит-порфиров и лампрофиров). По имеющимся представлениям, они генетически связаны с ауэрбаховским комплексом.

В пределах рудного поля проявлены метасоматические изменения пород широкого диапазона температур формирования: пропилитизация, скарнирование, березитизация-лиственитизация, калишпатизация, кварц-серицитовый метасоматоз, аргиллизация-джаспероидизация. Кроме того, исследованиями последних лет установлен наложенный характер углеродизации в различных литологических разностях пород, представленной исключительно низкотемпературными битумами [1, 12].

Многие исследователи (Б.А.Гладковский, 1989 г.; В.Н.Бобров, 1991; К.П.Савельева и др., 1991 г.; Н.М.Риндзюнская и др., 1995, 1997; О.Н.Грязнов, 1997; В.В.Мурзин и др., 2010; В.Н.Сазонов и др., 1991, 2001) подчёркивают полигенный и полихронный характер оруденения на месторождении. Однако временные границы выявленных рудогенных процессов остаются дискуссионными.

Основное промышленное значение на месторождении имеют скальные первичные руды. Пологопадающие пластообразные рудные тела представлены прожилково-вкрапленным золото-сульфидным (золото-мышьяково-ртутным) оруденением в зонах дробления и рассланцева-

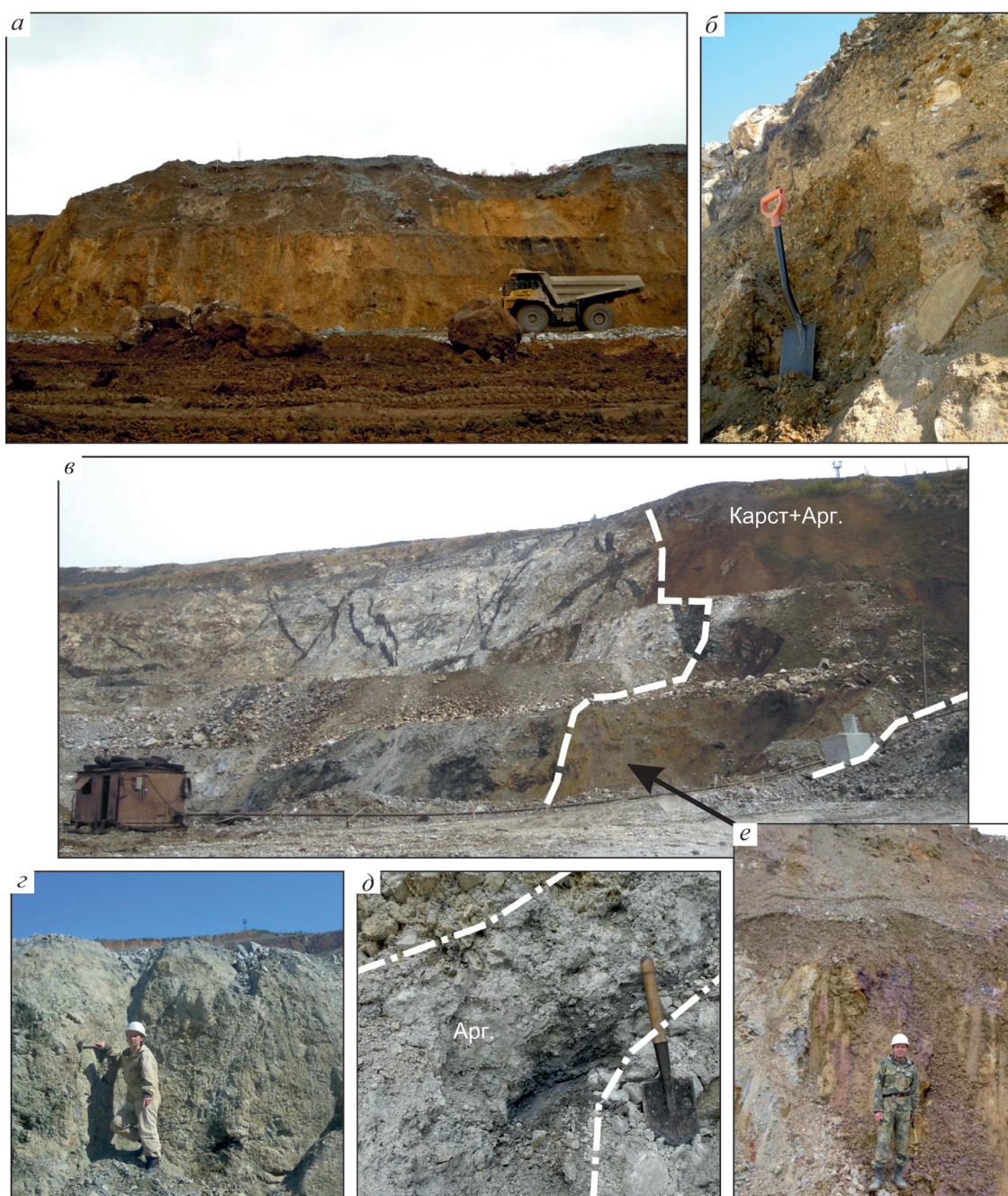


Рис. 1. Типы рыхлых образований в области рудоносного карста на Воронцовском месторождении:

а – общий вид восточной стенки Южного карьера с горизонта 160 м, на переднем плане – крупные буроже-лезняковые глыбы; *б* – карман перемещённых и переотложенных кор выветривания «мусорного» облика с разнородным обломочным материалом из мел-палеогеновых осадочных образований (Северный карьер, восточный борт, гор. 85–90 м); зона глубокого карста с хорошо выраженными проявлениями аргиллизации (северо-восточная часть Северного карьера); *в* – общий вид с гор. 75 м, пунктиром показаны примерные границы зоны, тёмное – дайки основного и среднего составов, *г* – аргиллизиты (по аповулканитовым метасоматитам) с обильной сульфидной минерализацией, вскрытые в центральной части карьера (юго-западное продолжение зоны, между гор. 65–70 м), *д* – участок интенсивной аргиллизации на выклинивании зоны глубокого карста, гор. 50 м, *е* – пестроцветные щебнисто-глинистые перемещённые коры выветривания с наложенной аргиллизацией (уступ между гор. 75–80 м)

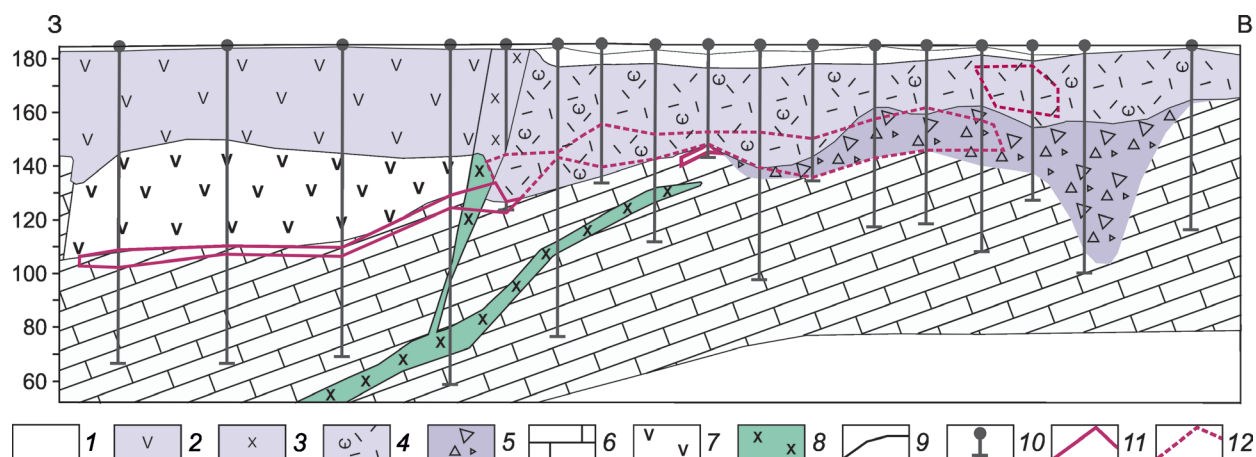


Рис. 2. Схематический геологический разрез по линии 128 Воронцовского месторождения, участок Южный:

1 – покровные образования, Q_{3-4} ; химические коры выветривания по: 2 – андезитам, 3 – диоритам, 4 – туфогенно-осадочным породам; 5 – перемещённые коры выветривания – делювиально-пролювиально-карстовые накопления; 6 – мраморизованные известняки, D_{1kr} ; 7 – андезиты порфировой структуры; 8 – дайки диоритов; 9 – геологические границы; 10 – разведочные скважины; контуры: 11 – первичных руд, 12 – окисленных

ния. Согласно промышленной классификации, руды делятся на сульфидно-силикатные и сульфидно-карбонатные. Ограниченно распространены сульфидно-скарновые руды. Рудные тела главным образом приурочены к плоскостям надвига, оперяющего Воронцовский разлом, тяготея к зоне маркирующего горизонта – брекчии известняков, перекрытого туфопесчаниками и туффитами башмаковской толщи (рис. 2).

С учётом данных геологоразведочных работ [4] и ведущейся эксплуатационной разведки обоснованы рудоконтролирующие факторы, определяющие локализацию первичных руд пластообразной формы:

- структурный – зоны дробления, смятия и расланцевания, сопровождающие Воронцовский разлом и оперяющие его пологие надвиги;
- литологический – известняковые брекчии, брекчиевидные известняки и перекрывающие их вулканогенно-осадочные породы (маркирующий контакт);
- метасоматический – центральные и промежуточные зоны метасоматических колонок с преимущественной ролью средне-низкотемпературных изменений;
- минералого-геохимический – участки с прожилково-вкрапленными выделениями суль-

фидов (пирит, арсенопирит, блеклые руды, аурипигмент, реальгар, киноварь и др.);

- геохимические аномалии As, Sb, Hg, Ba, Mn и др.

Окисленные руды относятся к двум типам – структурным и перемещённым корам выветривания. Рудные тела в структурных корах обычно имеют субгоризонтальное залегание (местами с наклоном до 25° на запад и восток) и пластообразную, линзовидную формы, во многом повторяющие строение первичных залежей. Сложены глинистыми, щебнисто-глинистыми продуктами, сохраняющими структурный и текстурный рисунок исходной породы, часто окрашены в желтоватые, красновато-коричневые тона. Рудные тела в перемещённых корах выветривания по морфологии и условиям залегания должны отличаться от первичных в связи с их смещением и переотложением в зоне карста. Однако во многих случаях этого не наблюдается (см. рис. 2). Резкие перепады глубин залегания и разрывы сплошности рудных тел отмечаются в бортах глубоких карстовых провалов, как правило, приуроченных к тектоническим нарушениям. Руды представлены глинистыми и щебнисто-дресвяно-глинистыми образованиями желтовато-охристыми, тёмно-коричневыми и песчаноцветными, содержащими гнезда и прослои

порошковых гидроксидов железа и марганца. Первичные сульфиды в окисленных рудах разложены и замещены гидроксидами железа.

Изучение золотоносных кор выветривания на стадии разведки месторождения [5, 11, 15] позволило выделить следующие морфологические типы кор: линейно-площадные, линейно-трещинные, контактово-карстовые и собственно карстовые. В отмеченных публикациях охарактеризован механизм их формирования, описаны форма и условия залегания рудных тел, обоснована последовательность накопления золота в корях выветривания, предложены остаточно-концентрационная и остаточно-инфильтрационная модели развития рудогенных процессов. Выявлено наличие в разрезе гидротермальных аргиллизитов, содержащих «свежие» сульфиды (преимущественно пирит, в том числе золотоносный). Но сколько-нибудь значимая роль низкотемпературных рудно-метасоматических процессов в формировании промышленных скоплений золота в объеме карстовых полостей не рассматривается. Полученные авторами данные позволяют по-новому взглянуть на генезис золотоносных пород, объединённых под общим названием «окисленные руды».

Объекты и методы исследований. По материалам геологоразведки и эксплуатационной разведки (изучено >30 геологических пересечений) обобщены данные о форме, размерах и условиях залегания рудных тел в пределах карстовых полостей. Помимо этого, в последние годы нами проводились геологические наблюдения в действующих Северном и Южном карьерах Воронцовского месторождения. Особое внимание уделено окисленным рудам, вскрытым Южным карьером, а также рыхлым образованиям карстово-тектонической зоны в северо-восточной части Северного карьера от горизонта 105 до 50 м (окисленные руды в северной части уже отработаны). Отобрано и изучено >80 шлиховых проб (объем 3–8 дм³) с выделением монофракций самородного золота и «свежих» сульфидов, преимущественно пиритов (±арсенипирит и др.).

Выполнены полный полуколичественный минералогический анализ шлихов – 21 проба (лаборатория кафедры ГПР МПИ, УГГУ, аналитик С.В.Акулова), рентгеноструктурный и термический анализы рыхлых образований на дифрак-

тометре XRD-7000 (Shimadzu) и дериватографе Diamond TG/DTA (Perkin Elmer) – семь проб (ИГГ УрО РАН, аналитики Т.Я.Гуляева, Н.Г.Петрищева); описано самородное золото – 143 зерна, из них 116 просмотрены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 LV (Jeol) с ЭДС-микроанализатором и частично на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX-100 (ИГГ УрО РАН, аналитики С.П.Главатских, Д.А.Замятин); изучен «свежий» (аргиллизитовый) пирит на сканирующем электронном микроскопе с выявлением сингенетических минеральных фаз и новообразований на поверхности зёрен (>250); определены микроэлементный состав методом ICP-MS на приборе ELAN-6100 (Perkin Elmer) и концентрации золота ICP-MS с предварительным химическим концентрированием в монофракциях пирита – три пробы (лаборатория ФГУП ЦНИГРИ); исследованы отдельные зёрна пирита из карстовой зоны методом электронной оже-спектроскопии на приборе LAS-3000 (Riber) (ФГУП ЦНИГРИ, аналитик Ю.В.Щегольков); определён изотопный состав серы в пирите и арсенипирите из зоны аргиллизации – семь проб (лаборатория ФГУП ЦНИГРИ, отв. исполнитель С.Г.Кряжев).

Литолого-минералогическая характеристика золотосодержащих пород карстового заполнения. По условиям возникновения породы рудоносного карста следует отнести к делювиально-пролювиальным и делювиально-пролювиально-карстовым накоплениям (тип перемещённых кор выветривания). Они подразделяются на смещённые глинисто-дресвяно-щебнистые образования с реликтами структурного элювия мощностью от 1–2 до 60 м и переотложенные бесструктурные коры выветривания преимущественно щебнисто-дресвяно-глинистые мощностью от 1–2 до 30 м. При изучении геологической документации эксплуатационных карьеров установлено, что подобное подразделение пород достаточно условно.

В пределах рудного поля также развиты структурные остаточные коры выветривания, относящиеся к сиалитному и феррисиалитному типам. При формировании этих кор по метасоматитам они становятся рудоносными. В разрезе остаточных кор выделяются четыре зоны: дезинтеграции (щебнистая, дресвяно-щебнистая), выщелачивания (дресвяно-глинистая), гидролиза (глинистая) и зона конечно-

го разложения (охристо-глинистая). Мощность структурных кор выветривания варьирует от 5 до 50 м.

По данным валового технологического опробования золотосодержащие коры выветривания по сульфидно-силикатным первичным рудам в основном состоят из нерудных минералов (>90%) – гидрослюд, каолинита, монтмориллонита, кварца, полевого шпата. Их количественные соотношения определяются степенью гипергенной проработки коренных пород. Рудные минералы (5,5–9,4%) представлены преимущественно оксидами железа и марганца. На сульфиды приходятся доли процента. Химический состав руд отличается высоким содержанием SiO_2 (до 69,5%), Al_2O_3 (до 18,6%), оксидов железа (до 8,9%). Отмечается высокое содержание K_2O (до 7,7%), что не характерно для кор выветривания и может быть связано с аргиллизитовым процессом. При более детальных исследованиях вскрытых карьерами фрагментов структурных кор выветривания по метасоматически изменённым вулканогенно-осадочным породам и дайкам выявлены зоны и участки выраженной аргиллизации, где доля сульфидов составляет до 1–3% и более.

Литолого-минералогическая характеристика золотосодержащих рыхлых образований карстового заполнения (перемещённых кор), их сопоставление с толщами аналогичного состава и строения других районов Урала (в том числе палинологически охарактеризованных [16]) позволяют параллелизовать этот рудоносный комплекс с раннеюрскими накоплениями, возникшими при формировании раннемезозойского пенеплена. В верхних горизонтах геологического разреза на площади рудно-россыпного поля в карстовых зонах присутствуют содержащие россыпное золото отложения средне-позднеюрского возраста лангурской свиты (J_{2-3}/n) (Воронцовская россыпь). В некоторых изученных шлиховых пробах были отмечены знаки диаспора, что может свидетельствовать о размыве бокситоносной раннемезозойской (T_{2-3}) коры выветривания латеритного (ферриаллитного) профиля, обнаруженной в Богословской и Веселовской депрессиях. Рассматриваемые рудоносные породы – неравномерно окрашенные (серых, желтовато-коричневых, охристых тонов) неслоистые (или неотчетливо слоистые) глинистые запесоченные образования, содер-

жащие преимущественно неокатанный грубо-обломочный материал (от дресвы и щебня до отдельных крупных глыб) пёстрого состава с преобладанием местных пород и бурожелезняковых образований (см. рис. 1, а, б). На долю обломочного материала приходится от 10 до 35–40%; он большей частью глинизирован, что, по всей видимости, связано не только с процессами химического выветривания в средне-позднеюрскую эпоху, но и с наложением низкотемпературного метасоматоза (аргиллизации). Сопряжённость гипогенных и гипергенных процессов обусловила значительное разнообразие состава глинистых минералов, представленных каолинитом (20–28%), монтмориллонитом (12,9–22,5%), гидрослюдой (3,1–20%), встречены гидрохлорит и галлуазит.

Гетерогенные условия формирования толщ карстового заполнения обусловили пёстрый состав тяжёлой фракции шлихов. Шлиховые пробы характеризуются различным выходом тяжёлой фракции от 0,04 до 36,14 кг/м³, что говорит о слабой дифференциации обломочного материала. Минеральный состав фракции разнообразен. Наряду с устойчивыми к выветриванию минералами – ильменитом, лейкоксеном, рутилом, анатазом, цирконом, турмалином, хромшпинелидами, кианитом (при общем их низком количестве, не превышающем обычно долей процента), абсолютно преобладают умеренно устойчивые и неустойчивые минералы – эпидот, магнетит (в том числе мартитизированный), гранаты, пироксен (ромбический и моноклинный), апатит, сфен и др. Установлено крайне низкое соотношение совокупности устойчивых к выветриванию минералов к сумме неустойчивых. Рассчитанное значение палеогеографического коэффициента (K_n) в изученных пробах существенно ниже единицы, что не позволяет параллелизовать описываемую рудоносную толщу с субформацией раннемезозойской коры выветривания. В то же время, значение K_n для пород лангурской свиты (J_{2-3}), формировавшихся за счёт разрушения уже химически выветрелых пород, существенно выше – до 4,2 [7].

В составе тяжёлой фракции шлихов доминирует группа аутигенных и гипергенных минералов (до 50–70%) – гидроксиды Fe и Mn, псевдоморфозы лимонита по пириту, иногда ярозит, аутигенный пирит (марказит) и сидерит (последний может быть связан и с низкотемпературным

метасоматическим процессом). Однако важно то, что во всех пробах в переменных количествах присутствует «свежий» аргиллизитовый пирит, иногда в ассоциации с другими рудными минералами (арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами и др.) и баритом.

Анализ соотношений основных минералов тяжёлой фракции шлихов (при выходе шлиха $\geq 1 \text{ кг/м}^3$) позволяет выделить минеральные ассоциации, отражающие состав не только разрушенных и перемещённых в зоны карста пород и минералов коренных источников, но и продукты более поздних наложенных гидротермально-метасоматических процессов. Выявлены (в порядке возрастания количества) следующие минеральные ассоциации: гранат-карбонат (анкерит, сидерит)-сульфидная (доля сульфидов до 77%), гранат-лимонит-карбонат-магнетитовая (магнетита до 75%), лимонит-пирит-эпидотовая (эпидота до 76%), эпидот-магнетит-лимонит-гематитовая (гематита до 50%), пирит-эпидот-псиломелан-лимонитовая (лимонита до 90%), пирит-эпидот-карбонатная (сидерит, анкерит, карбоната до 40%).

В составе лёгкой фракции шлихов присутствуют полевой шпат (до 10–30%), кварц, хлорит, серицит. Мелкие зёрна кварца нередко имеют кристалломорфные очертания, встречается «рисовидный» кварц, характерный для метасоматитов джаспероидной формации.

Опыт промышленного освоения Воронцовского месторождения показывает, что руды структурной и перемещённой кор выветривания близки по минеральному составу и технологическим свойствам. В рудах перемещённой коры главная роль принадлежит каолиниту, монтмориллониту, гидрослюдам, массовая доля которых достигает 60%. В рудах структурной коры доля глинистых минералов снижается, но, соответственно, возрастает доля кварца и полевых шпатов. Среди рудных минералов преобладают оксиды и гидроксиды железа, «свежие» сульфиды (преимущественно пирит) отмечаются в обоих типах руд – их валовая доля сотые–десятые доли процента.

Распределение золота в пределах карстовых полостей. При химическом выветривании вмещающих оруденение пород (возможно, начавшемся в средне-позднетриасовую эпоху) карбонатные толщи растворялись и образовались протяжённые карстовые полости. Наибо-

лее интенсивно процесс протекал в зонах контакта известняков с интрузивными телами, а также по контакту пород фроловско-васильевской и башмаковской толщ. Происходили заполнение карста продуктами выветривания и захоронение обрушившихся в карстовые полости минерализованных пород и рудных скоплений (скарново-магнетитовых, золото-сульфидных, золото-кварцевых). На выходах первичных руд сформировались остаточные и смещённые рудоносные коры выветривания (с сохранившейся продуктивной окисленной золоторудной минерализацией); при их перемещении, отчасти перемыве, образовались переотложенные коры.

Обобщение материала по 30 разведочным профилям в северной части Воронцовского месторождения позволило уточнить морфологию рудоносных залежей и механизм формирования окисленных руд. Установлены следующие структурно-морфологические особенности рудоносно-карстовых зон:

- ширина карстовых полостей варьирует в пределах от 70–80 до 420 м (в среднем ~310 м), увеличиваясь с севера на юг; средняя ширина залежей гипергенно-карстовых руд также возрастает в южном направлении от 40–70 до 350–420 м, в среднем составляя ~120 м;
- выделено порядка 30 пространственно разобщённых залежей мощностью от первых до 40 м, в среднем 12,2 м; преобладают залежи лентовидно-вытянутой формы, в подчинённом количестве присутствуют рудные тела округло-изометрической, линзовидной и иных неправильных форм.

Хорошо выражена пластообразная форма залежей. Для подобных рудных тел может быть использована предложенная Л.И.Четвериковым [17] теоретическая модель, характеризующаяся трёхосной анизотропией. Отчётливо проявленная ось анизотропии ориентирована по мощности рудных тел, меньшая – по ширине, наименьшая – вдоль вытянутости залежей. Выделены такие морфологические разновидности рудных залежей: пластообразные субгоризонтальные и слабонаклонные (до 10°) – 47% разрезом, прерывисто-пластообразные, реже пластово-наклонные (до 45°) – 20,6%, изометрические и гнездово-изометрические – 17,6%, волнообразно изменяющиеся по падению – 14,9%.

1. Статистические параметры распределения золота в зоне рудоносного карста на Воронцовском месторождении

Сопоставляемые типы руд		N	C _x , г/т	S	σ	A	E	V, %	Критерии различия при α=0,05		H ₀
									t	F	
1	Первичные руды	281	6,81	39,93	6,32	2,2	5,58	102,2	6,4>1,96	4,24>1,15	Отвергается
	Смещённые КВ	81	2,93	6,84	2,62	3,37	13,04	95,4			
2	Первичные руды	281	68,1	39,93	6,32	2,2	5,58	102,2	7,7>1,96	3,73>1,15	Отвергается
	Переотложенные КВ	170	3,1	10,71	3,27	3,53	16,8	105,5			
3	Смещённые КВ	81	2,93	6,84	2,62	3,37	13,04	95,4	0,4<1,96	1,14<1,96	Принимается
	Переотложенные КВ	170	3,1	10,71	3,27	3,53	16,8	105,5			

Примечание. Данные Воронцовской ГРП; N – число проб; C_x – среднее содержание Au; S – дисперсия; σ – стандартное отклонение; A – асимметрия; E – эксцесс; V – коэффициент вариации; t – критерий Стьюдента; F – критерий Фишера; H₀ – нулевая гипотеза; КВ – коры выветривания.

Исходя из главных показателей формы рудных тел – длины (l), средней ширины (h), средней мощности (m), определены основные параметры рудоносных залежей. Уплощённость рудных тел ($Уп=(l+h)/2m$) наиболее крупного размера изменяется от 45,4 до 85,8, а удлинённость ($Уд=l/m$) – в пределах 77,7–166,7. Для более мелких изометрических в плане залежей характерны другие показатели: Уп ~6, Уд от 8,7 до 9,5.

При статистической обработке результатов опробования по разведочным линиям 50б и 54б в северной части месторождения изучены выборки для ведущих типов золотоносных образований – первичных руд, смещённых и переотложенных кор выветривания (табл. 1). Помимо сопоставления данных по золотоносности, решалась задача проверки нулевой гипотезы об отсутствии различия сравниваемых статистик (для упомянутых типов руд) с использованием критериев Стьюдента и Фишера. Полученные результаты свидетельствуют о существенном различии статистических параметров в эмпирических совокупностях «первичные руды – окисленные руды» (смещённые и переотложенные коры выветривания) и отсутствии такового для двух типов гипергенных руд. Это позволяет рассматривать гипергенные руды в пределах карстовых зон как единый технологический тип золотоносных образований.

Выполненные обобщения дали возможность выявить закономерности размещения рудных залежей в пределах карстовых полостей. В большинстве разрезов залежи окисленных руд располагаются на продолжении выходов первичных руд, как бы наращивая их в восточном направлении (см. рис. 2). Подобную форму не могут иметь рудные тела, сформировавшиеся лишь по схеме обрушения коренных золотоносных скоплений в зоны глубокого карста и их последующего растягивания при сползании по склонам карстовых провалов [5, 15]. Наиболее приемлема, по мнению авторов, модель, учитывающая проявление на месторождении не только гравитационных, сульфидно-гравитационных, инфильтрационных процессов, но и наложенных (на нижнемезозойские рыхлые породы карста) продуктов низкотемпературного гидротермального метасоматоза. Это позволяет считать рудоносные карстовые накопления полигенными образованиями гипогенно-гипергенного генезиса [2, 3]. Отмеченное подтверждается при изучении типоморфных особенностей самородного золота и сопутствующих ему минералов.

Типоморфизм и типохимизм самородного золота. Самородное золото в продуктах карстового заполнения преимущественно тонкое. По данным Воронцовской геологоразведочной

2. Типоморфизм самородного золота окисленных руд Воронцовского месторождения*

Структурные коры выветривания по сульфидно-силикатным рудам	Перемещённые коры выветривания карстовых полостей
<i>Выход свободного золота, % (данные технологического опробования)</i>	
37–40	59–90
<i>Гранулометрический состав золота, %</i>	
–0,5...+0,25 мм – 0 –0,25...+0,1 мм – 2,3 –0,1...+0,05 мм – 3,9 –0,05 мм – 93,8	–0,5...+0,25 мм – 1 –0,25...+0,1 мм – 25 –0,1...+0,05 мм – 16,9 –0,05 мм – 51,7
<i>Морфология выделений</i>	
Преобладают объёмные и слегка уплощённые зёрна; в подчинённом количестве пластинчатые и неправильной формы золотины с извилистыми очертаниями, кристаллы разнообразной формы (нередко зонального строения, с зонами роста)	Зёрна комковидно-гнездовой (иногда в сростании с кварцем), комковидно-удлинённой, комковидно-ячеистой, пластинчатой форм; кристаллы и их сростки (в том числе дендритовидные, зонального строения и с выраженными ступенями роста)
<i>Пробность золота, ‰</i>	
Отмечаются два уровня: от 730–760 до 780–856 950–980 Среднее рассчитанное значение – 880	Варирует в пределах от низкопробного золота и электрума (<500) до весьма высокопробного (>950); по валовым определениям преобладают значения в интервале 910–990

* По материалам ЗАО «Золото Северного Урала», ЦНИГРИ [5, 9], с дополнениями авторов.

партии, в четырёх технологических пробах содержание металла крупностью <0,074 мм составляет от 64 до 97%, класса -0,074...+0,044 мм – от 28 до 34%, класса -0,25...+0,15 мм – от 1 до 8%. По данным изучения двух фазовых проб из окисленных руд на долю свободного золота, извлекаемого амальгамацией, приходится 80,84 и 7,31%, на золото в сростках с породой, извлекаемого цианированием, соответственно 9,91 и 91,28%.

Близкие результаты получены при исследовании технологических проб на стадии доразведки и промышленного освоения месторождения (данные ЗАО «Золото Северного Урала»). В структурных корах выветривания доля свободного золота 37%, в сростках 55–84%, нераскрытого 3,6–7,6%. В перемещённых корах количество свободного золота увеличивается до 59–90%, а с учётом золота в сростках – до 93–98%. Доля нераскрытого золота при этом составляет 1,4–4,4%. По гранулометрическому составу золото мелкое и тонкое, большая часть металла относится к классу -0,05 мм. В общем виде типоморфные особенности самородного золота приведены в табл. 2. Они отражают преи-

мущественно результаты валового и технологического опробования.

Изучение авторами гравитационно извлекаемого золота показало большое разнообразие его морфотипов. Преобладают объёмные выделения рудного облика комковидно-гнездовой, комковидно-округлой и иных форм, а также комковидно-уплощённые и пластинчатые золотины (рис. 3, а–в). Нередко зёрна представлены кристаллами разнообразной формы и дендритовидными сростками (см. рис. 3, г–е). Встречаются хрупкие агрегаты из сцементированных тонких частиц размером от сотых до десятых долей миллиметра. Установлено присутствие прожилково-чешуйчатых, брусковидных, крючковидных и других золотин. Реже отмечалось наличие мелких золотин (в том числе класса +0,25 мм) объёмной и уплощённой форм с признаками перемещения в виде борозд и параллельной штриховки, обмятости зёрен, развальцевания краев (рис. 4).

Для самородного золота из перемещённых кор выветривания нередко сростания с различными сопутствующими минералами – пиритом, блеклыми рудами, турмалином, кварцем, также

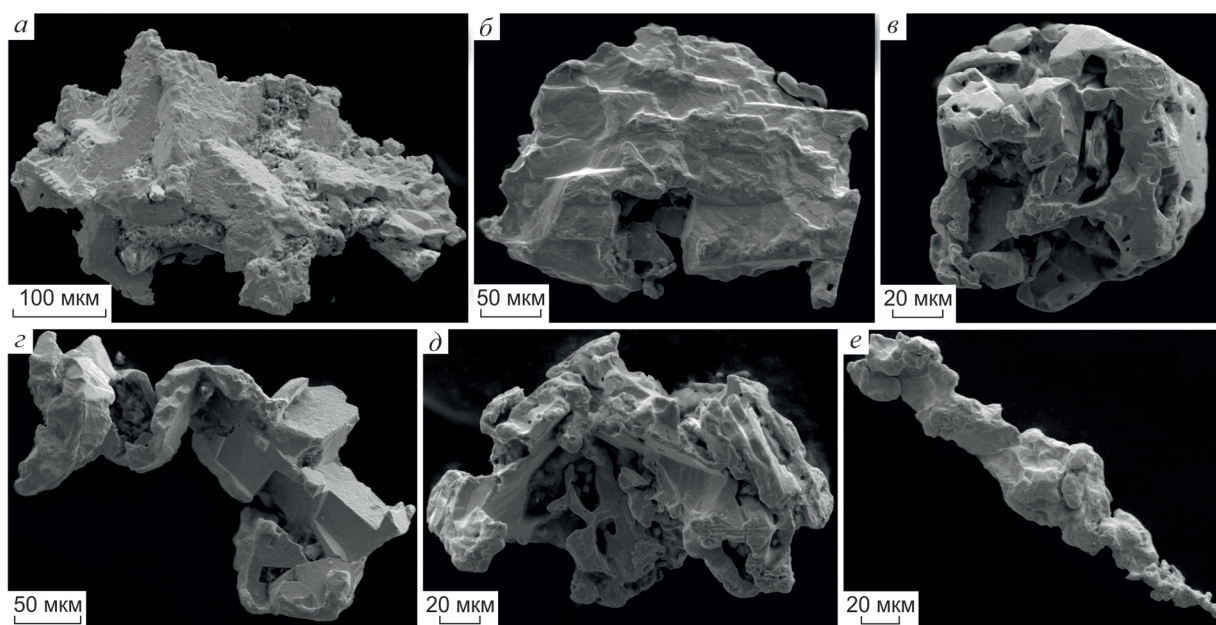


Рис. 3. Морфологические типы зёрен самородного золота из перемещённых кор выветривания, Северный участок Воронцовского месторождения:

а-в – золотины комковидной и уплощённо-комковидной форм; *г-е* – сростки и агрегаты кристаллов золота; снято в режиме SEI (вторичные электроны)



Рис. 4. Облик золотин, испытавших перемещение в зоне карста:

а – окатанная золотина с бороздами механической природы; *б* – уплощённое зерно с обмятыми краями и признаками «расклёпа»; кристалломорфное золото: *в* – с выраженными, *г* – слабыми следами изменений (завальцевание, коррозия, небольшие механические повреждения); снято в режиме SEI, зерно «*а*» – в режиме BES (отражённые электроны)

встречены сростки с гесситом, аргентярозитом и некоторыми другими минералами (рис. 5). Отмечено нарастание «нового» золота на поверхность золотин с образованием сплошных и прерывистых плёнок и «губчатых» образований (рис. 6). Формирующие их тонкие частицы (размером десятки нанометров) имеют округлую,

изометрическую, удлинённо-призматическую формы. Наряду с преимущественно высокопробными и весьма высокопробными, наблюдаются новообразования низкопробного золота (иногда гессита), обрастающего средне-высокопробные золотины. Для большинства изученных золотин характерен гемидиоморфный

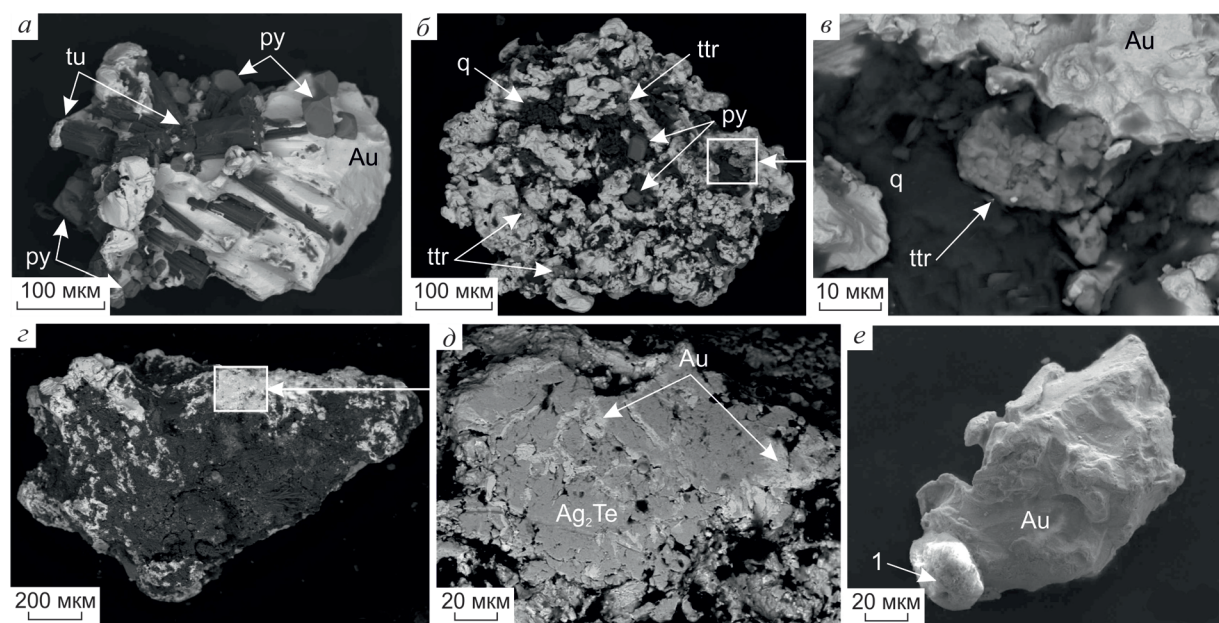


Рис. 5. Срастания золота с сопутствующими минералами:

а – срастание самородного Au с турмалином (tu), аргиллизитовым пиритом (py); агрегат высокопробного (937–970‰) ртутистого (Hg 5,4 мас. %) Au в ассоциации с тетраэдритом (ttr), пиритом, кварцем (q); *б* – общий вид, *б'* – детали строения; зерно гессита, покрытое чёрной (углеродсодержащей) плёнкой, с включениями среднепробного (811–821‰) Au: *г* – общий вид, *д* – детали строения; *е* – срастание Au с сульфатом сложного состава, предположительно аргентярозитом (1); снято в режиме BES, кроме зерна «б» (SEI)

облик. Значительная часть из них имеет неоднородное (в том числе зональное) строение иногда с выраженными ступенями роста (рис. 7, б, в). Микрозондовые исследования золота из карстовых зон с большими или меньшими проявлениями аргиллизации показали значительный диапазон колебаний пробности от низкопробного и электрума (см. рис. 7) до весьма высокопробного при общем преобладании среднепробного. Характерна примесь Cu ($n \cdot 0,1$ –1 мас. %) и Hg (до 5,54 мас. %).

Свободное золото, выделенное из скальных руд, характеризует ведущие типы коренных руд месторождения – сульфидно-силикатные и сульфидно-карбонатные. Наиболее продуктивны поздние минеральные ассоциации – аурипигмент-реальгаровая и сульфосольно-полиметаллическая [6]. С ними ассоциирует мелкое и тонкое золото, размером не превышающим 0,1 мм (редко до 0,5 мм). Самая поздняя сульфосольно-полиметаллическая ассоциация отличается двумя диапазонами колебаний пробности: высокопробного 940–950‰ и низко-сред-

непробного 735–890‰. С этой ассоциацией связаны высокая серебристость руд и повышенные концентрации ртути.

Приведённые сведения по типоморфизму самородного золота для разных типов руд Воронцовского месторождения свидетельствуют о высокой сопоставимости выявленных морфогранулометрических и иных параметров металла. Наиболее наглядно это проявилось для двух типов экзогенных (окисленных) руд.

Типоморфные особенности «свежего» аргиллизитового пирита. Новообразованный пирит присутствует в рыхлых образованиях на разных гипсометрических уровнях вскрытого разреза как в структурных корах выветривания, так и в пределах карстовых зон. Он обнаружен во всех изученных шлиховых пробах – от единичных знаков до значительного количества. На участках интенсивной аргиллизации (см. рис. 1, г, д) его содержание достигает 5 мас. % и более. Пирит мелкий и тонкий, более 90% зёрен относятся к фракции $-0,5$ мм. Морфологически преобладает кубический пирит, в значимых количе-

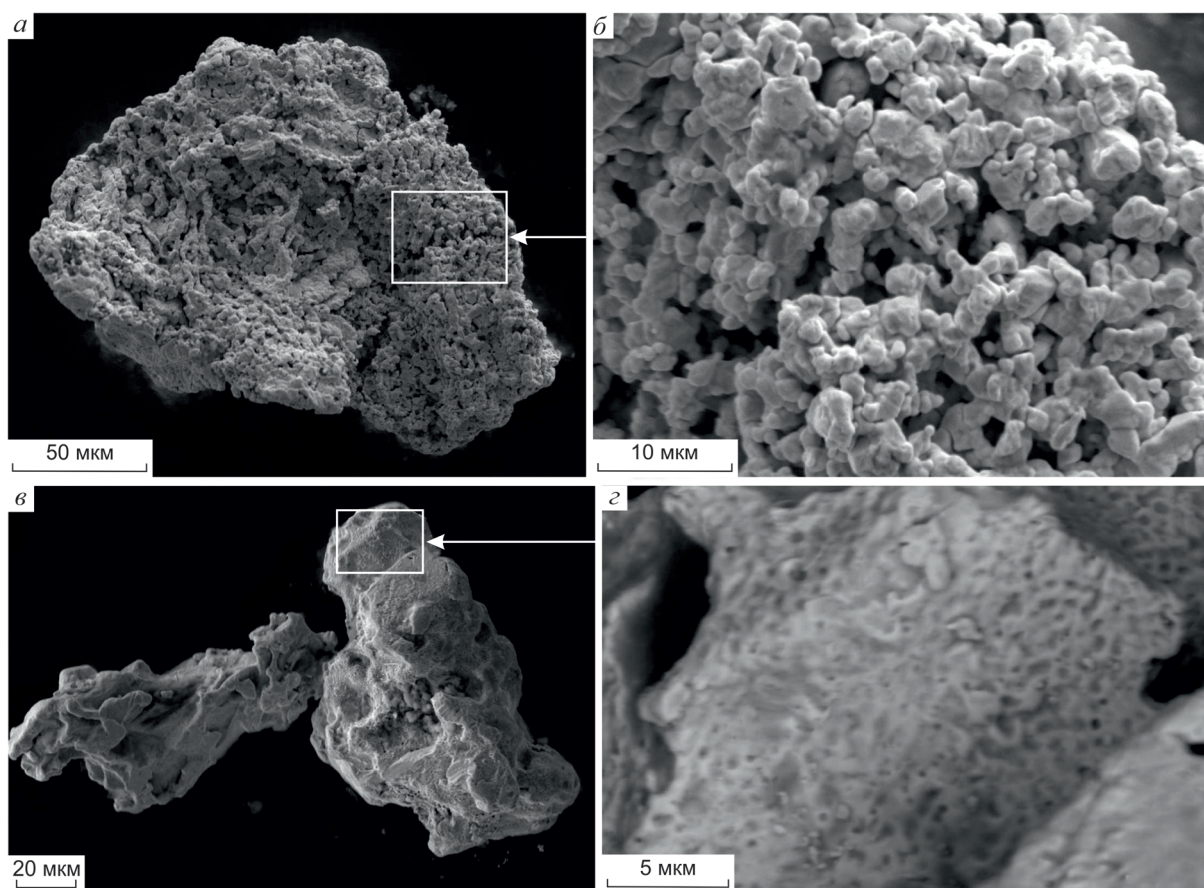


Рис. 6. Новообразования на поверхности золота:

а, б – агрегат новообразованного Au на поверхности зерна золота; *в, г* – нарастание высокопробной оболочки на зерно электрума; общий вид (*а, в*), детали строения «губчатой» поверхности (*б, г*); снято в режиме SEI

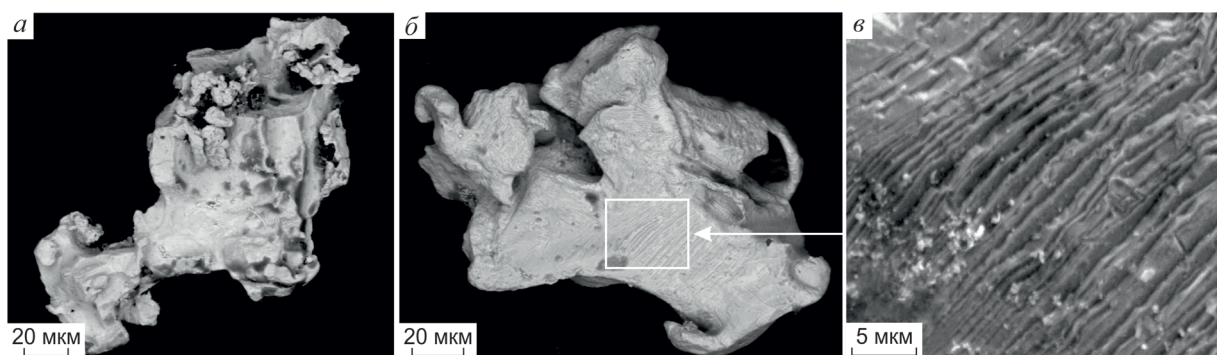


Рис. 7. Зональное строение зёрен самородного золота:

а – зерно электрума неоднородного строения с вариациями состава от низкопробного до высокопробного; зерно сложной формы с изменчивым составом золота от низкопробного до высокопробного; *б* – общий вид, *в* – детали строения поверхности с отчётливо проявленной структурой роста; снято в режиме SEI (*в*) и BES (*а, б*)

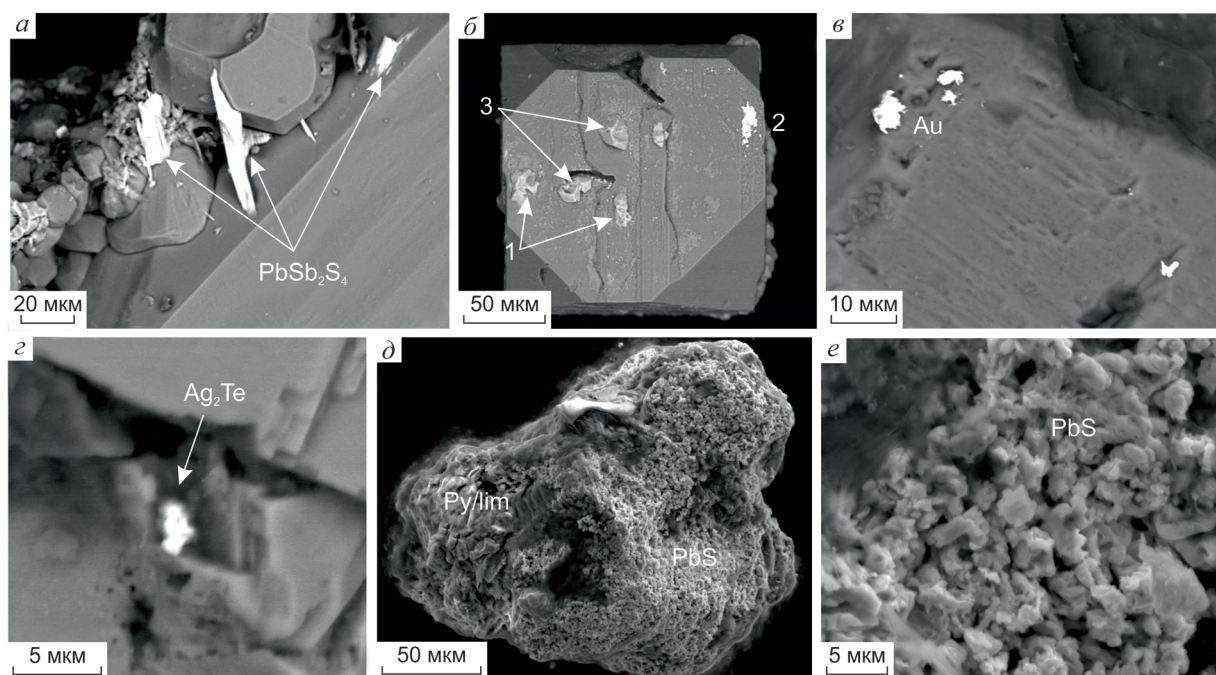


Рис. 8. Примеры новообразований на поверхности зёрен аргиллизитового пирита из кор выветривания:

образцы из зоны глубокого карста в северо-восточной части Северного карьера: *а* – цинкениит, $PbSb_2S_4$, *б* – тетраэдрит (Ag, Zn)-содержащий (1), галенит (2), вросстки халькопирита (3), *в* – микровыделения высокопробного Au (яркое); образцы из верхних горизонтов элювиально-делювиальных карстовых образований Южного карьера: *г* – микровключение гессита, *д*, *е* – обрастание частично окисленного зерна пирита (Py/lim) ранней генерации новообразованным галенитом (*д* – общий вид, *е* – строение агрегатов PbS); снято в режиме BES (*а–г*) и SEI (*д,е*)

ствах (до 30–35% и более) отмечаются комбинации куба и пентагондодекаэдра, октаэдры, икосаэдры и другие формы менее распространены. С пиритом ассоциируют рудные (арсенипирит, самородное золото, реже галенит, сфалерит, халькопирит, антимонит, блеклые руды) и нерудные (доломит, сидерит, барит и кварц, в том числе «рисовидный») минералы.

Особенность аргиллизитового пирита – наличие различных минеральных фаз на поверхности кристаллов, образование которых невозможно в рамках исключительно гипергенного процесса [10, 18]. Из более чем трехсот зёрен пирита Воронцовского месторождения такие нарастания и включения установлены в 42% (рис. 8). Это самородные элементы (золото, медь, цинкистая медь, свинец), сульфиды (галенит, арсенипирит, антимонит, халькопирит, сульфиды меди, сфалерит, сульфоарсенидные фазы), сульфосоли (Zn, Ag, Cd-содержащий тетраэдрит, цинкениит, фаза Pb-Cu-As-S), теллуриды (гессит,

теллуровисмутин), а также барит и углеродистое вещество (битумы) (выделены наиболее часто встречаемые). По результатам оже-спектроскопии нескольких зёрен пирита из зоны глубокого карста обнаружены высокие концентрации углерода на поверхности граней (до 70–80 атомн. %) и сохранение аномальных значений (>50–55 атомн. %) в процессе ионного травления. Иногда фиксируется присутствие азота. Это свидетельствует о выраженных восстановительных условиях образования и согласуется с результатами изучения органического вещества в рудах Воронцовского месторождения, которое представлено низкотемпературными битумами флюидогенной природы [1, 12].

Содержания золота в монофракциях «свежего» пирита из карстовой зоны в северной части месторождения (по данным ICP-MS) составляют от 3,6 до 12,7 г/т. Отмечаются аномальные содержания ряда других элементов, что может быть связано с наличием новообразованных

фаз на поверхности зёрен, г/т: 1257–8545 As, 1,5–5,6 Hg, 73–728 Co, 100–482 Ni, 152–372 Cu, до 221 Zn, 84–193 Pb, до 126 Se, до 4,5 Te, до 88 Sb, до 31 Ba. Связь пирита с эндогенными процессами подтверждается данными по изотопному составу серы – $\delta^{34}\text{S}$ от -1,8 до -3,2‰. Близкие значения $\delta^{34}\text{S}$ получены и для сопутствующих арсенопирита (-1,9 до -3,5‰) и антимонита (-4,6‰) в одной из проб. Следует отметить, что эти значения близки к соответствующим характеристикам для сульфидов коренных руд [8].

Образование химических кор выветривания на Урале по времени совпадает с самым мощным – мезозойским – этапом тектоно-магматической активизации, наиболее интенсивно проявившейся в зонах глубинных разломов и оперяющих их тектонических нарушений, а также в сопряжённых с ними структурах (к последним относится район Воронцовского Au-рудного месторождения). С данным этапом связано и формирование крупных эрозионно-структурных депрессий [14], где происходили наиболее масштабные процессы карстообразования, причём карстующиеся породы составляют ~35% от слагающих названные депрессии геологических комплексов. Участки депрессий, наследующие золотоконтролирующие структурные элементы в пределах рудно-россыпных районов и узлов, особенно интересны при оценке перспектив золотого оруденения нетрадиционного типа, связанного с заполненным мезозойским карстом.

На Воронцовском месторождении в локальных морфоструктурах (карстовых зонах) пространственно совмещены продукты гипогенной и гипергенной природы (гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения [2, 3]). Так называемые окисленные руды представляют собой полигенные образования, двойственность которых подчёркивается рядом особенностей – структурных, литологических, минералого-геохимических и др.

Сопоставляя данные литолого-минералогического изучения рыхлых карстовых накоплений на Воронцовском месторождении и в других районах Урала, где известны палинологически обоснованные отложения аналогичного состава [14, 16], можно предполагать их ранне-среднемезозойский (раннеюрский) возраст. Это подтверждается присутствием в верхней

части разреза золотоносных отложений лангурской свиты (Воронцовская россыпь, J_{2-3}/n). Обоснование возраста рудовмещающих карстовых толщ позволяет определить временные рамки наложенной золоторудной минерализации, которая, по-видимому, связана с золотоносной аргиллизитовой формацией, проявившейся на постъюрском этапе тектонической активизации региона.

По данным разведочного и эксплуатационного бурения рудные тела в скальных породах продолжают в карстовые зоны. Такое положение нельзя объяснить только «растягиванием» минерализации в пределах карстовых полостей. Субсинхронно проявленные гипергенные процессы существенно не изменили контуры уже сформированных пластообразных и линзовидных рудных залежей. В то же время, в цоколе карстовых полостей накапливались гипергенные золотосодержащие тела железисто-марганцовистого состава различной формы и масштаба.

Следует подчеркнуть, что разграничение продуктов гидротермальной аргиллизации и химического выветривания не всегда возможно, что обусловлено конвергентностью признаков этих геологических образований [5, 6]. В полной мере сказанное относится к золотосодержащим породам заполненного мезозойского карста. По данным Т.П.Поляковой [5], характерными чертами метасоматитов аргиллизитовой формации являются:

- отсутствие выраженной минералого-геохимической зональности в разрезе толщ;
- повышенное содержание оксидов щелочных металлов (в первую очередь, K_2O) и кремнезёма;
- присутствие совершенно неокисленных сульфидов, в том числе разных морфотипов;
- преобладание мелкого, тонкого и пылевидного золота;
- широкий диапазон колебаний пробности золота.

Всё перечисленное свойственно породам карстовых зон Воронцовского месторождения. Авторами также установлены дополнительные признаки аргиллизитового процесса:

- морфологические особенности золота, свидетельствующие о крайне неравновесных (низкотемпературных, близповерхностных) условиях образования – частое присутствие

дендритоидов, мелко-тонкокристаллических сростков, выраженных ступеней роста;

- отсутствие признаков гипергенных преобразований у значительной части золотин;
- помимо вариации состава золота от электрума до весьма высокопробного, присутствие среди поздних нарастаний на поверхности золотин как высокопробного, так и низкопробного золота;
- наличие специфических фаз на поверхности «свежего» пирита, образование которых не характерно для собственно гипергенного процесса – самородные металлы (Cu-Zn, Pb), сульфиды (арсенопирит, галенит, сфалерит), теллуриды, блеклые руды, барит и др.

Аргиллизитовый рудно-метасоматический процесс, вероятно, предварялся и частично сопровождался флюидогенной (гидротермально-флюидогенной) битуминизацией [1, 12]. Этим может объясняться повышенное содержание углерода в поверхностных зонах пирита и развитие самородных фаз.

Обобщение данных разведочно-эксплуатационных работ показало, что в коренных рудах (в области маркирующего контакта) в центральных частях рудоносных зон доминируют каолинит-кварц-серицитовые метасоматиты, промежуточные зоны характеризуются частичной серицитизацией и монтмориллонитизацией с присутствием гидрослюд. Аналогичные низкотемпературные гидротермальные процессы проявились и на продолжении рудоносных зон в пределах карстовых полостей, заполненных щебнисто-дресвяно-глинистым материалом. Наложившееся близкоодновременно с этими процессами химическое выветривание пород привело к некоторому усложнению формы образованных в зоне карста рудоносных залежей, их частичной трансформации, гипергенному перераспределению ряда компонентов, но кардинального перераспределения золота при этом не происходило.

Вышеизложенное позволяет предложить уточнённую модель формирования золотого оруденения на Воронцовском месторождении, которая предполагает продолжение активных рудно-метасоматических процессов на посторогенном этапе развития рудного узла (вплоть до среднего – позднего мезозоя) и их сопряжённость (на поздней стадии) с масштабно проявленными гипергенными преобразованиями

пород. С указанными процессами, возможно, связана и наиболее поздняя золото-сульфосолюно-полиметаллическая минеральная ассоциация, установленная при изучении коренных руд [8]. Это позволяет рассматривать триаду золотосодержащих руд (скальные – рудоносные структурные коры – перемещённые коры карстовых полостей) как единую рудно-метасоматическую систему, в которой на завершающем этапе становления месторождения проявились низкотемпературные процессы золото-аргиллизитовой формации.

Несмотря на длительный период изучения карстовых руд Воронцовского месторождения, решены не все проблемы генезиса этого высокотехнологичного золотосодержащего сырья. Кроме того, весьма актуальной для региона остаётся задача поисков новых промышленных объектов «воронцовского» типа. Выполненные исследования дают возможность по-новому интерпретировать генетическую природу оруденения в пределах карстовых зон, что важно при прогнозно-поисковой оценке рудоперспективных площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю., Корякова О.В., Янченко М.Ю. Органическое вещество в рудах и вмещающих породах Воронцовского месторождения // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2011. С. 46–51.
2. Баранников А.Г. Рудоносность заполненного мезозойского карста на Урале: проблемы изучения // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 23–29.
3. Баранников А.Г., Угрюмов А.Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенеза мезозоя Урала // Литосфера. 2003. № 1. С. 13–26.
4. Бобров В.Н. Метасоматическая и сопровождающая золоторудная зональность на месторождении благородных металлов // Рудоносные метасоматические формации Урала. Свердловск, 1991. С. 44–46.
5. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корях выветривания / Н.М.Риндзюнская, Р.О.Берзон, Т.П.Полякова и др. – М.: ЦНИГРИ, 1995.
6. Грязнов О.Н., Вахрушев С.Н. Золото-аргиллизитовая формация Урала // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 73–84.

7. *Золото* Урала. Россыпные месторождения (К 250-летию золотой промышленности Урала) / В.С.Шуб, А.Г.Баранников, И.З.Шуб и др. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1993.
8. *Месторождения золота Урала* / В.Н.Сазонов, В.Н.Огородников, В.А.Коротеев и др. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2001.
9. Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Ронкин Ю.Л. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на Урале (карлинский тип): новые данные и проблемы // Литосфера. 2010. № 6. С. 66–73.
10. *Пириты* из ореолов активизации крупных разломных структур: некоторые типоморфные особенности и связь с углеродистым метасоматозом / О.Б.Азовскова, Ю.В.Щегольков, С.П.Главатских и др. // Международный семинар «Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества». Сыктывкар, 2012. С. 216–218.
11. Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Бобров В.Н. Геолого-минералогическая характеристика зоны гипергенеза Воронцовского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 42–52.
12. Ровнушкин М.Ю., Азовскова О.Б. Рассеянное органическое вещество в рудах Воронцовского золоторудного месторождения // Мат-лы конференции «Чтения памяти П.Н.Чирвинского». Пермь, 2015. Вып. 18. С. 350–357.
13. Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А., Гладковский Б.А. Эндогенное оруденение девонского андезитовидного вулканоплутонического комплекса (Урал). – Свердловск: УрО АН СССР, 1991.
14. Сигов А.П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. – М.: Недра, 1969.
15. *Технология* ускоренных поисков месторождений золота в корах выветривания (Методические рекомендации) / Н.М.Риндзюнская, В.Б.Чекваидзе, В.И.Пятницкий и др. – М.: ЦНИГРИ, 1997.
16. Цаур Г.И., Якушев В.М. Методические рекомендации по литологическому расчленению континентальных мезозойских и дочетвертичных кайнозойских отложений восточного склона Урала и западной части Зауралья. – Свердловск: Объединение «Уралгеология», 1982.
17. Четвериков Л.И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. – Воронеж: Изд. Воронежского ун-та, 1968.
18. Azovskova O.B., Malyugin A.A., Nekrasova A.A., Yanchenko M.Yu. Pyrite from zones of Mz-Kz reactivation of large faults on the eastern slope of the Ural Mountains, Russia // WASET. Engineering and Technology. Issue 79. London, 2013. P. 463–467.

Баранников Александр Григорьевич,
доктор геолого-минералогических наук
fgg.gpr@m.ursmu.ru

Азовскова Оксана Борисовна,
кандидат геолого-минералогических наук
oazovskova@yandex.ru

Ровнушкин Михаил Юрьевич,
кандидат геолого-минералогических наук
rovn@list.ru

Готтман Андрей Альбертович,
главный геолог
gottman@zsu.polymetal.ru

Смагин Иван Викторович,
ведущий геолог
smagin@zsu.polymetal.ru

MESOZOIC ORE-BEARING KARST OF VORONTSOVSKOYE GOLD DEPOSIT, NORTHERN URALS

A.G.Barannikov,
O.B.Azovskova,
M.Yu.Rovnushkin,
A.A.Gottman,
I.V.Smagin

Geology of Vorontsovskoye gold deposit is summarised, polygenic and polychronous origin of the deposit is highlighted. Litho-mineralogy of ore-bearing karst filler is reviewed. Ore body morphology is described using exploration traverses. It is noted that in many cases sub-horizontal bodies of «oxidised ore» in karst zones represent a logical extension of «hard rock» ore bodies. Typomorphism and typochemistry of native gold and «fresh» (neogenic) pyrite from argillaceous formations of karst zone, as well as argillizite, are described. A development model of hypogenic-hypergenic type of mineralisation is proposed, offering a new perspective to evaluate gold-bearing potential of Mesozoic filled karst areas.

Key words: native gold, Mesozoic karst, subhorizontal ore bodies, argillizite, pyrite.