

ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГИПОГЕННО-ГИПЕРГЕННОГО ТИПА НА УРАЛЕ. КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ПРИЗНАКОВ ИХ ОТЛИЧИЯ ОТ РУДОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

А. Г. Баранников, О. Б. Азовскова

Gold-bearing objects of hypogene-supergene type in the Urals. Convergence of signs of their difference from ore-bearing weathering crusts

A. G. Barannikov, O. B. Azovskova

At the present stage, gold-sulphide-quartz objects of a veined type are not enough to allow successful implementation of prospects for expanding the resource base for ore gold within the Ural region. It is necessary to orient prospecting and exploration work to identify and evaluate new (non-traditional) types of gold mineralization. These include objects of hypogene-supergene type (HST), established in recent years within the ore-bearing structures of the Urals. The term "hypogene-supergene" reflects such a type of gold deposits, in the formation of which endogenous and exogenous ore-forming processes occurred approximately in the same time and space. The article describes the characteristics of some HST objects located in the Middle and Northern Urals, the features of their geological structure, and mineralogical and geochemical indications of ore content. The peculiarity of HST objects manifests in the following: peculiarities of the form and conditions of occurrence of ore deposits (plastoid and lenticular forms predominate); Absence of distinct lithological boundaries of ore bodies; The dominance of small and fine gold, a wide range of variations in the samples; "Non-standard" structure of geochemical ore haloes. The complexity of separation of clay rocks, corresponding to hydrothermal low-temperature metasomatites and chemical weathering crusts, consists in the necessity of substantiating their identifying features (both similarities and differences). A number of these features have inherent convergence. In addition to geological, mineralogical-petrological and geochemical features, the study of typomorphism and petrochemical typology of native gold becomes important. The authors argue that an objective assessment of the relative role of low-temperature hydrothermal metasomatites of the argillizite formation and products of chemical weathering has, at the present stage, not only scientific, but also applied significance for the purposeful conduct of geological exploration work.

Keywords: gold; argillizites; weathering crust; hypogene-supergene type; convergence.

Перспективы расширения сырьевой базы по рудному золоту в пределах Уральского региона не могут быть успешно реализованы на современном этапе за счет золото-сульфидно-кварцевых объектов жильного типа. Необходима ориентация поисковых и разведочных работ на выявление и оценку новых (нетрадиционных) типов золотого оруденения. К ним можно отнести объекты гипогенно-гипергенного типа (ГПТ), установленные в последние годы в пределах рудовмещающих структур Урала. Термин «гипогенно-гипергенный» отражает тип золоторудных месторождений, при формировании которых эндогенные и экзогенные рудообразующие процессы были сближенными или сопряженными как во времени, так и в пространстве. В статье приведена характеристика некоторых объектов ГПТ, расположенных на Среднем и Северном Урале; рассмотрены особенности их геологического строения, минералого-геохимические признаки рудоносности. Своеобразие объектов ГПТ проявляется в следующем: особенности формы и условий залегания рудных залежей (преобладают пластообразные и линзовидные); отсутствие отчетливых литологических границ рудных тел; доминирование мелкого и тонкого золота, широкий диапазон колебаний пробыности; «нестандартное» строение геохимических околорудных ореолов. Сложность разделения глинистых пород, отвечающих гидротермальным низкотемпературным метасоматитам и химическим корам выветривания, заключается в необходимости обоснования идентифицирующих их признаков (как сходства, так и различия). Ряду этих признаков свойственна конвергентность. Помимо геологических, минералого-петрологических и геохимических признаков большое значение приобретает исследование типоморфизма и типохимизма самородного золота. Утверждается, что объективная оценка относительной роли низкотемпературных гидротермальных метасоматитов аргиллизитовой формации и продуктов химического выветривания имеет на современном этапе не только научное, но и прикладное значение для целенаправленного проведения геологоразведочных работ.

Ключевые слова: золото; аргиллизиты; коры выветривания; гипогенно-гипергенный тип; конвергентность.

Актуальность обсуждаемой проблемы

В связи с высокой геологической и минерагенической изученностью Уральского региона фонд известных месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации жильного типа к настоящему времени близок к исчерпанию. За длительный период промышленного освоения (начиная с середины XVIII в.) большая часть их уже освоена или законсервирована из-за нерентабельности отработки глубоких горизонтов. Отмеченное остро обозначило проблему определения рациональных направлений при проведении прогнозно-поисковых и оценочных работ как на ближайшую, так и отдаленную перспективу. При этом необходимы новые подходы, опирающиеся на современные минерагенические концепции, новые предлагаемые прогнозно-

поисковые модели, новые методы изучения вещественных комплексов, также учитывающие современные технологии переработки золотосодержащих пород.

Согласно существующим представлениям [1, 2], золотое оруденение на Урале формировалось в связи с вещественными комплексами различных геодинамических обстановок: континентального рифтогенеза, океанического спрединга, островных

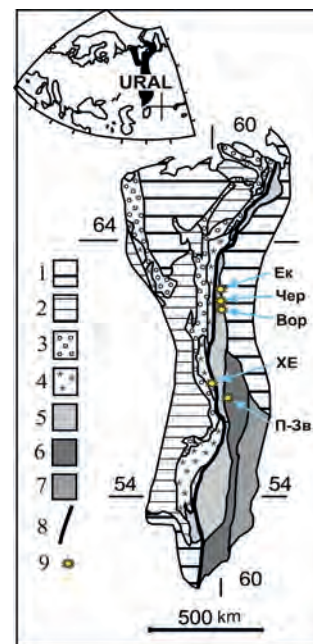


Рисунок 1. Положение исследованных объектов в структурах Урала. 1 – мезозойско-кайнозойские отложения; 2 – Предуральский прогиб. Мегазоны (3 – Западно-Уральская, 4 – Центрально-Уральская, 5 – Тагильская и Магнитогорская, 6 – Восточно-Уральская, 7 – Зауральская); 8 – Главный Уральский глубинный разлом; 9 – объекты исследований: Эк – Екатеринбургское месторождение, Чер – Чернореченский участок, Вор – Воронцовское месторождение, ХЕ – Хионинско-Елизаветинское рудное поле, П-3в – Первомайско-Зверевское рудное поле (Верхотурское и Зверевское месторождения). Структурная основа по Г. А. Петрову, 2011.

Таблица 1. Критерии сходства и различия гидротермальных аргиллизитов и кор химического выветривания на примере Светлинского месторождения (по О. Н. Грязнову и др., 1995, с упрощением).

Критерии	Признаки, свидетельствующие в пользу	
	гидротермальных аргиллизитов	продуктов химического выветривания
Геологический	<i>Направленная метасоматическая зональность:</i> продукты наиболее полных изменений во внутренних зонах ореолов сменяются к периферии менее интенсивными преобразованиями пород	<i>Прямая метасоматическая зональность:</i> глинистые и охристо-глинистые продукты верхней части разреза последовательно сменяются на глубину зоной промежуточных продуктов и зоной дезинтеграции
Минералого-петрографический	Последовательное замещение исходных пород хлоритом и карбонатом, затем калиевой гидрослюдой (часто политипии 2M ₁), монтмориллонитом, каолинитом. Присутствие перетолженного кварца во внутренних зонах ореолов. Минеральные ассоциации стадии осаждения: кварц (нередко бипирамидальный; в ореолах – «рисовидного» облика), пеннин, сидерит, пирит, цеолиты. Отсутствие щепнистых пород зоны дезинтеграции	Формирование в структурных КВ щепнистых пород зоны дезинтеграции, дресвяных пород зоны промежуточных продуктов, затем глинистых с участием охр; сохранение структурного рисунка пород. В аргиллизитах он тоже часто сохраняется. В зонах дезинтеграции и промежуточных продуктов происходит гидратация слюд с образованием гидробиотита, гидрофлогопита политипии 1M ₁ и сопутствующих гидрохлорита, лимонита по пириту. Кварц обожрен, корродирован. Последовательность преобразований в профиле КВ: плагиоклаз и серицит замещаются каолинитом, хлорит переходит в гидрохлорит-монтмориллонит и гидроксиды железа, затем в каолинит; карбонаты и пирит замещаются гидроксидами железа, цеолит – халцедоном (опалом)
Петрохимический	Активный вынос породообразующих оксидов из исходных пород (FeO, MgO, CaO, K ₂ O). Некоторое накопление полторных оксидов (TiO ₂ , Al ₂ O ₃) в стадию сопряженного отложения. Присутствие минералов-индикаторов (самородного золота, пирита, ассоциации глинистых минералов и др.)	Вынос щелочных и щелочноземельных компонентов, кремнезема из материнских пород. На примере кварц-биотит-амфиболовых пород в зоне глинистых продуктов относительный вынос составил: SiO ₂ – 15,9 %; MgO – 95,0 %, CaO – 95,1 %; Na ₂ O – 97,8 %; K ₂ O – 100 %; накопление полторных оксидов: TiO ₂ – на 58,1 %, Al ₂ O ₃ – на 41,6 %. Кремниевый модуль (Al ₂ O ₃ /SiO ₂) возрос с 0,37 до 0,76
Геохимический	Широкий рудный геохимический спектр – Au, Ag, As, Sb, Hg, Pb, Bi, W, Cu, Zn, Ba	Существенный вынос элементов-индикаторов из глинистого элювия и некоторая их остаточная концентрация в продуктах промежуточной зоны профиля КВ

дуг, континентальной окраины (в надсубдукционных вулканоплутонических поясах), коллизии. Золоторудные объекты крупного масштаба, как правило, являются полигенными и полихронными. Этапы их становления обычно отвечают различным геодинамическим режимам.

В последние годы накоплен значительный по объему фактический материал, позволяющий утверждать, что золотообразующие процессы проявили себя в регионе не только на наиболее позднем (коллизионном), но и на постколлизионном этапе развития – в мезозое [3–9]. Однако эта точка зрения разделяется не всеми [1, 2]. Продуктами проявленной в мезозое тектономагматической активизации (ТМА) являются рудоносные метасоматиты золото-аргиллизитовой формации, отчасти золото-джаспероидной (авторами она рассматривается как фация единой метасоматической колонки). В транскрипции современных геотектонических концепций применительно к особенностям подвижных складчатых поясов эти рудообразующие процессы могут быть сопоставлены с режимом *постколлизионного рифтогенеза*. Отмеченные месторождения и рудопоявления следует рассматривать в ранге нового, нетрадиционного для региона типа золоторудения.

Само понятие – «нетрадиционный тип оруденения» – достаточно обширное. Оно имеет геолого-экономический смысл и может неоднократно изменяться со временем. К числу слабо изученных и недостаточно оцененных в регионе типов золоторудения можно отнести прожилковые и прожилково-вкрапленное в углеродсодержащих («черносланцевых») толщах, обычно отвечающее золото-сульфидной, золото-сульфидно-кварцевой формациям; оруденение золото-порфиорового, золото-медно-порфиорового типа; локально развитые проявления золото-известково-силикатной и золото-родингитовой формаций; золотоносные химические коры выветривания; оруденение золото-аргиллизитовой формации.

Процессы аргиллизации могли проявлять себя неоднократно в геологической истории формирования рудовмещающих структур. Ареалы низкотемпературных изменений связаны как с гидротермальной аргиллизацией пород, так и с сольфатарно-фумарольными изменениями вулканогенно-осадочных толщ [7]. На примере раннекаменноугольных углеродсодержащих пород

в пределах рифтогенных структур Южного Урала обосновывается *гидротермально-осадочная модель формирования* золото-сульфидных залежей пластово-линзовидной формы, связанных со *стратоидной аргиллизацией и джаспероидизацией толщ* [10]. Появление рудных тел в разрезе этих толщ объясняется воздействием подводных поствулканических металлоносных флюидов на слабо литифицированные терригенно-осадочные и карбонатные породы. Возникшие при этом золотоносные тела могли быть позднее нарушены подводными оползнями. При перемешивании с терригенными породами возникали микститовые горизонты, отвечающие определенным литолого-стратиграфическим уровням.

В рамках предлагаемой публикации остановимся на характеристике лишь тех объектов, формирование которых есть основание параллелизовать с «молодыми» (постколлизионными гидротермально-метасоматическими) процессами мезозоя [3–5, 9, 11]. Наиболее активно они проявили себя на заключительных этапах развития рудоконтролирующих структур. На современном уровне изученности проблемы можно выделить две стадии проявления ТМА: ранняя P₂-J₁ и поздняя J₂-K₂. По данным, приведенным в работах В. С. Шуба, вполне возможно проявление в отдельных структурных зонах и наиболее поздней неоген-четвертичной (N-Q) стадии активизации.

Оптимальные условия для формирования золотоносных метасоматитов существовали в локальных геологических структурах, когда наложенные телетермальные низкотемпературные процессы проявили себя в объеме структурно-вещественных комплексов, уже содержащих благороднометалльную минерализацию. Под воздействием гидротерм могло происходить перетолжение золота (порой неоднократно), его концентрация и(или) вовлечение в новые гидротермально-метасоматические циклы, что способствовало формированию полигенного и полихронного оруденения.

Минералого-геохимическое изучение золоторудных объектов (выполненное в ряде случаев в совокупности с палеогеоморфологическими реконструкциями), приуроченных к так называемым «глинизированным» породам, позволило выделить своеобразные для региона золоторудения «гипогенно-гипергенного» типа, отделяя их по механизму формирования от

Таблица 2. Типоморфизм и типохимизм самородного золота ряда объектов гипогенно-гипергенного типа.

Объект исследований	Изученные типы руд	Крупность золота	Морфология золотых частиц и иные особенности	Состав золота
Воронцовское месторождение (зона заполненного мезозойского карста)	Гетерогенные золотоносные породы (коры выветривания и аргиллизиты)	Преобладает мелкий и тонкий класс крупности. Выход свободного золота – 50–90 %	Доминирует золото объемной формы (комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой), реже уплощенное, брусковидное и т. д. Части идиоморфные и гемиидиоморфные выделения. В ряде золотин отмечены борозды (признаки перемещения), срастание с сопутствующими в коренных породах минералами. Золото зон аргиллизации имеет зональное строение, крайне изменчивую пробность. Присутствует гипергенное золото	Широкий диапазон колебаний пробы – от < 500 до 950–980 ‰ при общем преобладании среднепробного золота. Примеси – Cu (0,1–1,0 %), Hg – до (5,51 %)
Екатерининский рудно-россыпный узел	Рудоносные аргиллизиты, коры выветривания	В аргиллизитах золото мелкое, тонкое и пылевидное. Выход свободного золота до 86 %. В корях выветривания преобладают средние классы крупности металла	В аргиллизитах присутствует металл удлиненной и удлиненно-уплощенной формы (до 60 %), комковидный и уплощенно-комковидный (до 25 %), кристаллы, дендритоиды и др. (15 %). Отмечено срастание золота с глинистыми минералами, карбонатом. Присутствует золото «не характерного» для региона состава: губчатое ртутистое, сурьмянистое, оловянистое	Высокий диапазон колебания пробы (от 740 до 990 ‰). Примеси – Cu (0,12 %), Sb – (0,19 %), Fe (до 0,21 %). В остаточных корях – проба от 857 до 893 ‰; примеси – Cu (0,02 %), Fe (0,04 %)
Первомайско-Зверевское рудное поле	Рудоносные коры выветривания, минерализованные зоны аргиллизитов	В корях выветривания – золото средних и мелких классов крупности. В аргиллизитах преобладает золото мелкое и тонкое	В корях выветривания – золото объемной формы (комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой, уплощенно-комковидной), реже уплощенное (прожилково-чешуйчатое и др.). Золотины обохорны, содержат гипергенные пленки. В аргиллизитах – выделения гемиидиоморфные, скелетные кристаллы, зерна зонального строения, неоднородное строение (структуры распада системы Au–Ag). Зерна «псевдоокатанные», «оплавленного» облика, гипергенное золото	Широкий диапазон колебания пробы. В корях выветривания – преимущественно 700–800 ‰, в аргиллизитах – 266–699 ‰. Проба «горчичного» гипергенного золота 556 ‰

золотоносных химических кор выветривания. Малоглубинные низкотемпературные процессы золотого рудогенеза протекали в обстановке, отражающей суммарный эффект воздействия как восходящих ювенильных растворов, так и нисходящих высоко-реакционных метеорных вод. Именно этот смысл следует вкладывать в понятие *гипогенно-гипергенный тип (ГГТ) оруденения, когда эндогенные и экзогенные процессы оказывались сближенными или сопряженными как во времени, так и в пространстве.*

К настоящему времени в регионе установлено более 40 золотоносных объектов ГГТ. Для некоторых из них выявлена закономерная пространственная связь с мезозойскими эрозионно-структурными депрессиями [11] и глубинными разломными структурами [12]. Предлагаются три основные модели формирования оруденения этого типа, при которых рудообразующие малоглубинные процессы: а) завершали формирование уже возникших рудных концентраций с образованием своеобразных по форме и составу рудных скоплений полигенного и полихронного типа; б) проявились автономно и способствовали формированию рассеянных промышленных концентраций рудного компонента; в) проявились автономно и не привели к появлению промышленно значимых скоплений. Золоторудные объекты и проявления ГГТ выявлены во всех структурно-формационных зонах и в вещественных комплексах различных геодинамических обстановок. Это свидетельствует в пользу регионального, а не узлокального характера этих процессов.

Своеобразие объектов ГГТ заключается в том, что возможны различные пространственно-временные соотношения процессов низкотемпературного метасоматоза (аргиллизации) и химического выветривания. В одних случаях коры выветривания (КВ) накладываются на уже сформированные аргиллизиты, в других отмечается обратная последовательность. Но чаще процессы аргиллизации и корообразования являются субсинхронными, сопряженными в пределах единых рудолокализирующих структур. Это определяет актуальность разработки критериев и признаков идентификации золотопроявлений ГГТ. Задача

усложняется наличием *сходства и конвергентности* ряда характеристик низкотемпературных метасоматитов и КВ.

Особенности состава и строения объектов ГГТ изложены в публикациях авторов [5, 6, 11, 12]. Остановимся на рассмотрении лишь некоторых из них (рис. 1).

Краткая характеристика ряда объектов гипогенно-гипергенного типа

Екатерининский рудно-россыпный узел расположен на восточном склоне Северного Урала в пределах Тагильской мегазоны, в западном обрамлении шовной зоны Серовско-Маукского глубинного разлома. Поисковыми работами в пределах рудно-россыпного узла выявлено оруденение с промышленно значимыми концентрациями золота (0,5–7,0 г/т). Обнаруженные минерализованные зоны пространственно тяготеют к крупному Лозьвинскому разлому. В области его влияния установлены субмеридиональные и сдвиго-надвиговые нарушения, приуроченные к контактам карбонатных и вулканогенных пород (D_{1-2}). Выявлены участки интенсивной трещиноватости и брекчирования, сопровождаемые развитием линейных химических кор выветривания и глубокого заполненного карста, а также зон развития низкотемпературного метасоматоза. Примечательно, что рудоносность связана не только с накоплением остаточного золота в глинистом мезозойском элювии, но и с низкотемпературным рудно-метасоматическим процессом аргиллизации. Их сочетание привело к формированию сложных по составу и строению гетерогенных минералого-геохимических полей. Этим объясняется то, что обработка и анализ геологических данных на основе традиционных методик оценки рудоносных КВ не дает удовлетворительных результатов и не позволяет обосновывать аргументированный геологический прогноз.

На основе обобщения материалов поисковых работ, документации и опробования забоев гидравлических карьеров и керн-скважин, а также выполненных минералого-геохимических исследований предложена геолого-генетическая модель последовательности развития рудообразующих процессов в пределах рудно-россыпного узла [13, 14]. Выявленные в пределах узла

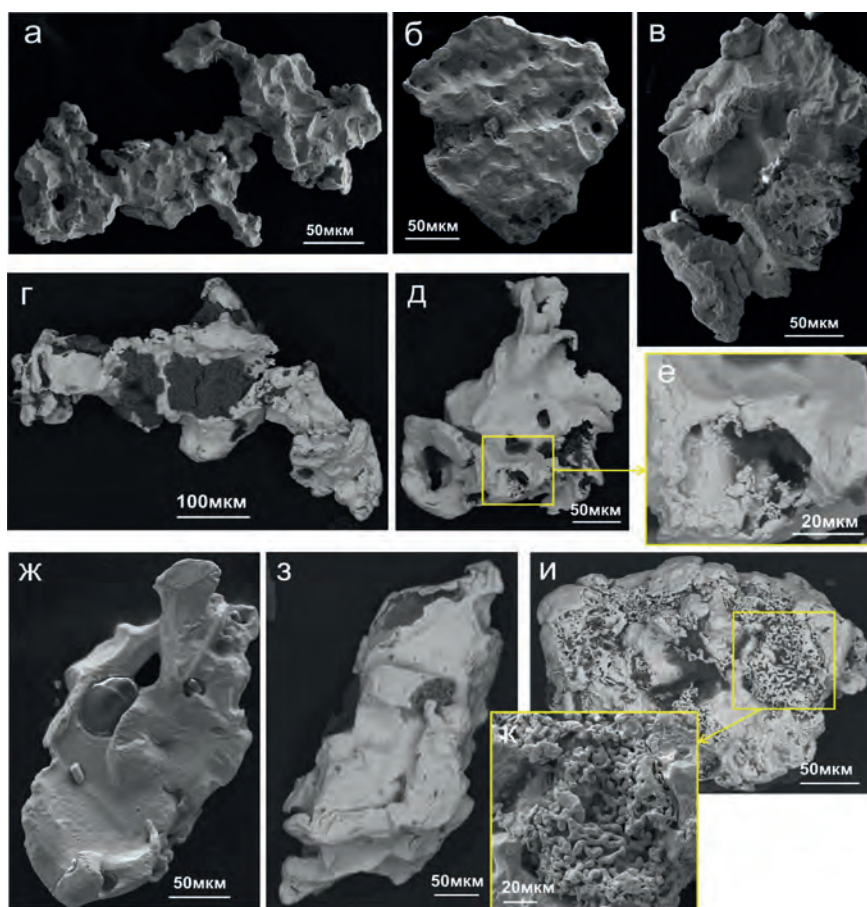


Рисунок 2. Морфология частиц самородного золота в зоне мезозойского элювия (Верхотурский и Зверевский участки). а, б, в – золото из кор выветривания «остаточного типа»; г–з – золото из зон аргиллизации; и, к – гипергенные пленки губчатого строения на поверхности низкопробного золота («а–е» – Зверевское месторождение, «ж–к» – Верхотурское месторождение). Снято в режиме SEI (а, б, в, ж, к) и BEI (г, д, е, з, и), вторичные и отраженные электроны).

золотопроявления представлены наклонно- и крутозалегающими минерализованными зонами в остаточных корях выветривания, развитыми по вулканогенно-осадочным породам, а также пластообразными метасоматическими залежами в рыхлых породах мезозойского карста. Самородное золото в минерализованных зонах преимущественно пылевидное и тонкодисперсное. Особенности формы, химического состава золота, типоморфное значение этих параметров охарактеризованы ниже.

Чернореченский участок находится в пределах той же структурно-формационной зоны на северном фланге Краснотурьинского рудного района. Оруденение выявлено в пределах «залеченной» сдвига-надвиговой структуры, располагающейся субпараллельно Серовско-Маукскому глубинному разлому [15]. Восточнее надвига располагаются породы базальт-трахиандезитовой формации краснотурьинской свиты раннего девона. По зоне разлома они полого (20°–45°) надвинуты на юрские континентальные отложения лангурской свиты (J₂₋₃), в нижней части разреза которых развита золотоносная россыпь (в настоящее время большей частью отработанная). Золотоносность, связанная с процессами аргиллизации, тяготеет к аллохтону сдвига-надвига. Оруденение отнесено к прожилково-вкрапленному типу золото-аргиллизитовой формации. Минералого-геохимическое изучение аргиллизитов позволило выявить типоморфные ассоциации минералов в объеме рудоносных зон. Стадии кислотного выщелачивания свойственны серицит-хлорит, гидрослюда, смектит, хлорит-монтмориллонит. В позднещелочную стадию (сопряженного рудоотложения) отмечено выделение анкерит-сидерита, хлорита (пеннина), пирита (мелких сложных форм), бипирамидального кварца, тонкого (до 20–30 мкм) высокопробного золота (930‰–950 ‰). Последнее нередко встречается в

сростках с теллуридами (теллуровисмутином, тетрадимитом, калаверитом и др.) Среди сульфидов отмечены халькопирит, галенит, сфалерит, марказит и др.

Самородное золото, присутствующее в россыпях Чернореченского участка, существенно отличается от аргиллизитового по granulometрии и составу. По данным ситового анализа (выполненного А. В. Лапиковой), на долю крупной и средней фракций приходится 77,8 %, на долю мелкой и тонкой – 22,2 %. Наиболее крупные выделения золота (массой до 465,3 мг) находятся в сростаниях с кварцем, содержат его включения. Проба золота колеблется в пределах 836–887 ‰. Нет сомнения, что основными коренными источниками россыпей (юрского, раннемiocенового и четвертичного возраста) являлись коренные источники золото-сульфидно-кварцевого типа, генетически связанные с метасоматитами березит-лиственитовой формации. На уровне современного эрозионного среза кварцево-жильные тела большей частью оказались эродированными, а мелкое и тонкое золото зон аргиллизации в россыпеобразующем процессе уже задействовано не было.

Следует отметить слабую выветрелость брекчированных рудовмещающих пород в зоне надвига. Окисленность сульфидов в них низкая и проявляется в появлении пленок побежалости. Сказанное свидетельствует о том, что рудоносные процессы в зоне сдвига-надвига были более поздними, нежели широко проявившееся на прилегающих площадях химическое выветривание пород в юрско-меловую эпоху.

В настоящее время на участке ведутся разведочные работы.

Воронцовское золоторудное месторождение расположено на Северном Урале, в восточной части Тагильской мегазоны, попа-

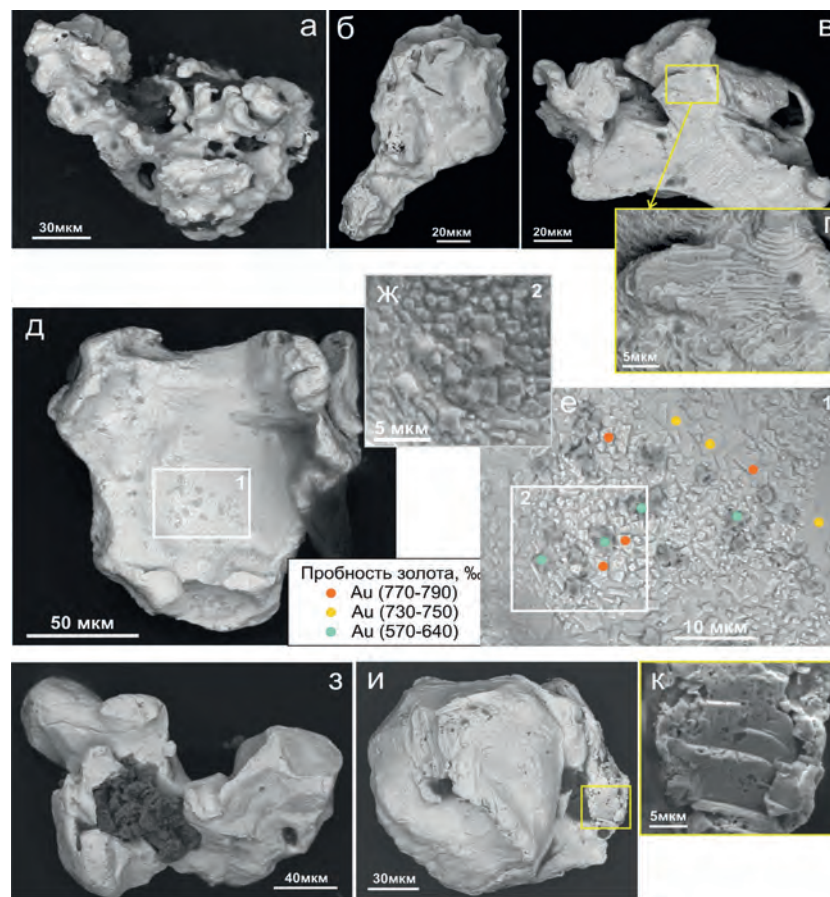


Рисунок 3. Морфология и характер поверхности зерен низкопробного золота. а–г – золотины зонального строения: зерна спектра неоднородного строения с вариациями пробности (а, б); зерно сложной формы с изменчивым составом золота (от низкопробного до высокопробного) и отчетливо проявленными структурами роста (в, г) – Воронцовское месторождение; д–ж – локальное (ячеисто-пятнистое) изменение структуры поверхности и пробности золота (Верхотурское месторождение); з–к – низкопробное золото со ступенями роста (Зверевское месторождение). Снято в режиме SEI (г, е, к) и BES (а–в, д, ж–и).

дая в зону влияния Серовско-Маукского глубинного разлома. Район характеризуется широким развитием вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород с линзами известняков, объединенных в краснотурьинскую свиту (D_{kr}). В совокупности с интрузивными породами габбро-диорит-гранодиоритового состава территория входит в состав Турьинско-Ауэрбаховского рудного района. Геологическое строение месторождения охарактеризовано в многочисленных публикациях (работы Б. А. Гладковского, В. Н. Боброва, В. Н. Сазонова, В. В. Мурзина, О. Н. Грязнова, К. П. Савельевой, Н. М. Риндзюнкой, Р. О. Берзона, А. А. Черемисина и др.). Несмотря на длительный период изучения, далеко не все вопросы генезиса этого крупного по масштабу месторождения на сегодняшний день убедительно аргументированы. Высокую актуальность имеет обоснование факторов, позволяющих целенаправленно прогнозировать новые промышленные объекты «воронцовского» типа.

Воронцовское месторождение находится в западном обрамлении Ауэрбаховской интрузии и приурочено к крылу моноклиальной пологопадающей на запад структуры, сложной породами краснотурьинской свиты. Рудоконтролирующее значение в разрезе имеет мощная (до 1200 м) фроловско-васильевская толща, сложенная светло-серыми органогенно-обломочными мраморизованными известняками с маломощными прослоями туфогенных пород. Важнейшим элементом толщи является горизонт брекчированных известняков, в пределах которого локализованы основные рудные тела. Этот горизонт получил статус «маркирующего».

Основное промышленное значение на месторождении имеют *скальные первичные руды*, представленные прожилково-вкрапленным золото-сульфидным (золото-мышьяково-ртутным) оруденением в зонах дробления (брекчированных известняков).

Маркирующий горизонт приурочен к плоскостям надвига, опирающегося Воронцовский разлом. Руды по составу разделены на сульфидно-силикатные и сульфидно-карбонатные.

Окисленные руды подразделены на два типа – структурные и перемещенные коры выветривания. Рудные тела в структурных КВ имеют пластообразную, линзовидную форму, во многих случаях повторяющую строение первичных залежей. Строение золотоносных перемещенных кор обычно более сложное, что связано со смещением материала в зоны карстовых провалов.

Обобщение материалов геологоразведочных работ прошлых лет в совокупности с результатами детальной геологической документации и опробования забоев в Северном и Южном карьерах месторождения позволило с новых позиций характеризовать закономерности размещения рудных залежей в пределах карстовых зон [16, 17]. Установлено, что во многих отстроенных геологических разрезах субгоризонтальные залежи окисленных руд располагаются на продолжении выходов скальных руд в зону карста, как бы продолжая (наращивая) их в восточном направлении. Подобную форму не могут иметь рудные тела, сформировавшиеся лишь по схеме обрушения коренных руд в зоны глубокого карста и их последующего растягивания при сползании по склонам карстовых провалов. Наиболее приемлемой является модель, учитывающая проявление не только гравитационных, суффозионно-гравитационных процессов, но и наложенных на рыхлые толщи карстового заполнения продуктов низкотемпературного гидротермального метасоматоза.

Для примера приведем состав двух характерных проб:

1. Пестроцветные карстовые КВ, на которые наложена аргиллизация (типогенно-гипергенные образования). Состав (мас. %) – кварц ~ 20–25; каолинит, монтмориллонит, гидрослю-

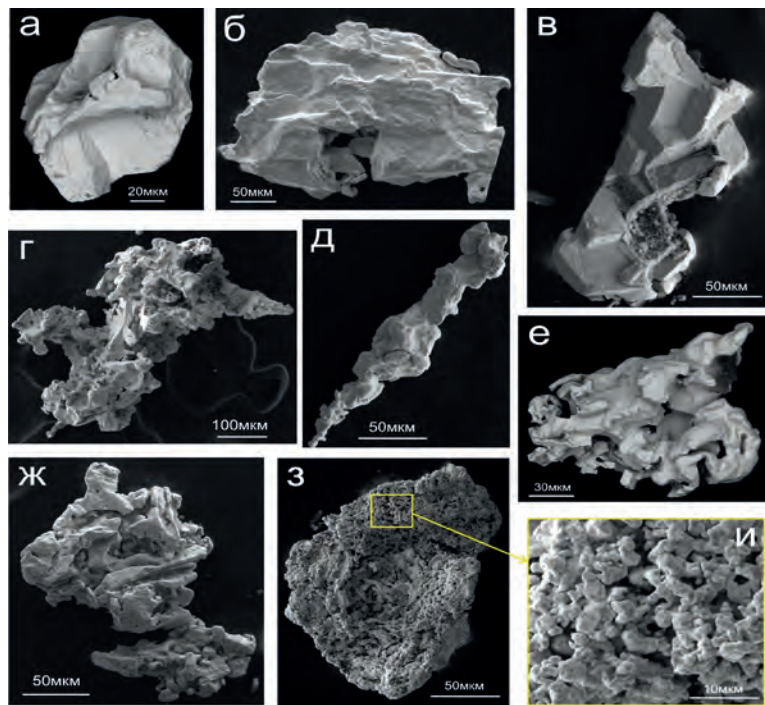


Рисунок 4. Золото из зон мезозойского карста Воронцовского месторождения. а–в – золото из перемещенных кор выветривания; г–ж – золото, связанное с аргиллизитами; з, и – гипергенное золото губчатого строения. Снято в режиме SEI (б–д, ж–и) и BES (а, е).

да (иллит), смешаннослойные образования (смектит), карбонаты (кальцит, доломит, сидерит) и гетит присутствуют примерно в равных количествах; пирит ≥ 1 .

2. Типичные светло-серые аргиллизиты. Состав (мас. %) – основными минералами являются гидрослюда (иллит) и кварц; минералы группы гетита > 15; карбонаты (кальцит, сидерит) ~ 2–3; сульфиды > 5 (преобладает пирит).

В обоих пробах присутствует весьма мелкое, тонкое и пылевидное самородное золото.

Сказанное позволяет рассматривать рудоносные карстовые накопления как полигенные образования *гипогенно-гипергенного типа*. Отмеченное подтверждается результатами литолого-минералогического изучения рудоносных рыхлых толщ, а также данными по типоморфизму и типохимизму самородного золота (что обсуждается далее).

Хионинско-Елизаветинское рудное поле находится на западном склоне Среднего Урала, в пределах южной части Сурыинско-Промысловской минерагенической зоны. Приурочено к породам позднего рифея – углеродисто-кварц-серицитовым сланцам колпаковской свиты (R_3kp). Дислоцированные блоки рудоносных пород претерпели метасоматические изменения, отвечающие лиственит-березитовой и аргиллизитовой формациям. Низкотемпературные метасоматиты пространственно и во времени связаны с формированием золотоносных химических КВ [18], что обусловило сложное распределение концентраций золота в сформированном гетерогенном геохимическом поле.

Рудные залежи характеризуются как концентрически-зональным распределением металла, так и более сложным (ритмично-полосчатым и даже «факелообразным»). В метасоматитах *лиственит-березитовой формации* во внешней части сланцевых пород отмечены карбонатизация, серицитизация, а во внутренней зоне окварцевание – в виде секущих кварцевых жил и прожилков с золото-сульфидной минерализацией. Абсолютный возраст серицита из околорудных метасоматитов составил по данным К–Аг метода 276 и 230 млн лет (поздняя пермь – ранний триас). За счет коренных источников золото-сульфидно-кварцевого типа (к настоящему времени большей частью уже эродированных) сформировалась Серебрянская россыпь золота – одна

из наиболее богатых и протяженных на Среднем Урале.

В метасоматитах *аргиллизитовой формации* установлены минеральные парагенезисы, отвечающие стадияльным изменениям рудовмещающих пород. Для ранней стадии кислотного выщелачивания характерна смектит-гидрослюдистая минеральная ассоциация (мелкочешуйчатый агрегативный серицит, клинохлор, иллит, смектит ряда монтмориллонит–хлорит). В стадию сопряженного осаждения сформировались ореолы прожилково-вкрапленной минерализации, представленные тонкозернистым пиритом и субмикроскопическим золотом. Нижняя возрастная граница пород аргиллизитовой формации определяется их наложением на березиты, а верхняя устанавливается на основе пространственно-временных соотношений с продуктами химических КВ мезозойского (юрско-мелового) возраста. Химические КВ ферритно-сиаллитного типа представлены площадными, линейно-площадными и линейно-карстовыми типами. Площадные коры сохранились лишь локально. Распределение золота в зоне мезозойского элювия определяется характером его размещения в породах рудоносного субстрата.

Первомайско-Зверевское рудное поле располагается на Среднем Урале, тяготея к восточному обрамлению регионального Верх-Исетского глубинного разлома. Рудное поле приурочено к крупному массиву ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой формации, интродуцированному мелкими полиформационными телами гранитоидов, преимущественно относящихся к тоналит-гранодиоритовой формации (D_3-C_1). В объеме гранитоидных тел (реже за их пределами) развито золотое оруденение субштокверкового типа, представленное системой разноориентированных маломощных кварцевых жил и прожилков с убого-сульфидной (первые проценты) минерализацией (пирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, шеелит и др.). На площади рудного поля выделены участки – Верхотурский, Зверевский и др. В прошлые годы в их пределах велась интенсивная старательская добыча золота из отдельных кварцевых жил и богатых россыпей «верховичного» типа, располагающихся на выходах рудоносных пород.

Рудовмещающие породы претерпели метасоматические изменения (пропилиты, березиты-листвениты, аргиллизиты). Если березиты распространены в объеме гранитоидов достаточно ши-

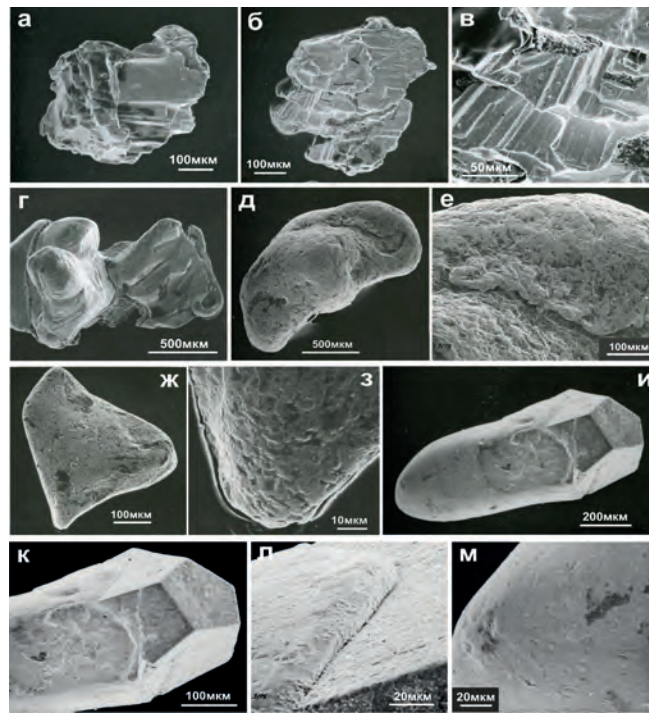


Рисунок 5. Морфологические разновидности самородного золота из верхних горизонтов коры выветривания, испытавших наложение процессов низкотемпературного метасоматоза (Верхотурский участок). а–в – золотины рудного облика (наблюдаются ступени роста зерен); г – сростки золота идиоморфных очертаний (с признаками «оплавленности» граней); д–з – изменение облика золотины при их просадке в зоне мезозойского элювия; и–м – пленка новообразованного низкопробного золота с абсолютно гладкой («леденцовой») поверхностью, нарастающая на зерно лимонитизированного пирита.

роко, то аргиллизиты закартированы лишь в пределах отдельных зон преимущественно субширотной ориентировки. В юрско-меловое время минерализованные породы претерпели выветривание. Мощность химических кор выветривания колеблется в широких пределах, в среднем составляя первые десятки метров.

Промышленные перспективы Верхотурского участка были установлены в результате поисковых и поисково-оценочных работ (Г. А. Букрин и др., 1986, 1990). Обобщение материалов этих работ позволило выявить особенности распределения золота в объеме минерализованных пород. Для массива слабо минерализованных гранодиоритов характерен общий относительно низкий уровень золотоносности. Однако в верхней части элювия был выявлен горизонт с промышленными концентрациями золота. Он характеризуется повышенным количеством зерен свободного золота, накопившимся в результате просадки металла при денудационном снижении минерализованных пород. В этой же части разреза присутствует мелкое и тонкое золото, связанное с более поздними наложенными процессами аргиллизации [19].

Характеристика самородного золота приведена далее.

Конвергентность признаков золотого оруденения в объектах гипогенно-гипергенного типа

Сложность разделения «глинизированных» пород, отвечающих генетически различным продуктам – гидротермальным низкотемпературным метасоматитам (аргиллизитам) и гипергенно преобразованным породам (химическим КВ), – заключается в необходимости обоснования типоморфных признаков. Эти признаки характеризуются значительным сходством, конвергентностью. Как правило процессы рудо- и корообразования разобщены во времени, относятся к различным геотектоническим режимам [20]. Рудообразование происходило в орогенные этапы развития регионов или связано с процессами посторогенной тектономагматической активизации (ТМА), в то время как корообразование наиболее интенсивно проявилось в пределах морфоструктур длительной стабилизации и, в первую очередь, на площадях формирующихся пенепленов. Особая обстановка

могла сложиться в этапы мезозойской ТМА при проникновении золотоносных гидротерм в зону гипергенеза. При смешении восходящих низкотемпературных гидротерм с нисходящими вадозными водами происходил их быстрый распад. Пространственная и временная сопряженность разнонаправленных по своей природе процессов могла быть различной (о чем уже отмечалось ранее). При всех возможных их временных сочетаниях сформировавшиеся «глинизированные» породы представляют сложные по составу и строению гетерогенные геологические и минералого-геохимические поля. Их выявление и диагностика представляют для исследователей непростую задачу.

Проблеме изучения гидротермальных аргиллизитов с обоснованием признаков их сходства и различия с продуктами химического выветривания посвящены лишь ограниченные публикации (Н. В. Разумова, 1977; К. П. Савельева и др., 1988; А. П. Харлашин, 1990; О. Н. Грязнов и др., 1995; Н. М. Риндзюнская и др., 1995). Наиболее аргументированно обсуждаемая проблема рассмотрена в работе О. Н. Грязнова с соавторами [3]. На примере Светлинского золоторудного месторождения авторами выделены типоморфные критерии и признаки, позволяющие разделить аргиллизиты и КВ (табл. 1).

Вопросы конвергентности золотоносных кор выветривания и гидротермальных аргиллизитов также рассмотрены Р. О. Берзоном в монографии, подготовленной сотрудниками ЦНИГРИ [20]. Эти материалы дополняют и по некоторым позициям уточняют изложенные ранее аргументы.

Отмечается, что низкотемпературные метасоматиты преимущественно локализируются в близповерхностных условиях. Корообразование также рассматривается как своеобразный низкотемпературный метасоматоз, протекавший в зоне гипергенеза при агрессивном воздействии окислительно-восстановительных процессов. Аргиллизиты мезозойского возраста могли формироваться при проникновении золотоносных гидротерм в зону гипергенеза, что приводило к смешению восходящих гидротермальных железисто-хлоридных вод с нисходящими окислительными вадозными растворами и их быстрому окислению.

Конвергентность генетически разнотипных образований определяет: а) близповерхностное их положение; б) частую приуроченность к тектоническим зонам; в) определенное сходство минерального состава. По данным Р. О. Берзона, к числу *ведущих критериев и признаков различия* следует отнести следующее.

1. Противоположная направленность рудно-метасоматических процессов:

аргиллизиты – привнос K_2O , Na_2O , CaO , NaO , SiO_2 . Сочетание устойчивых и неустойчивых минералов. В их числе: глинистых минералов, кварца, полевых шпатов, карбонатов, хлоритов, неокисленных сульфидов (пирита, арсенопирита, сфалерита, киновари и др.); разнообразие морфотипов пирита и арсенопирита; формирование вокруг рудных тел боковой геохимической зональности;

коры выветривания – кардинальное изменение баланса вещества, связанного с разложением и выносом неустойчивых соединений. Вынос K_2O , Na_2O , CaO , MgO , CO_2 , SiO_2 , накопление Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , иногда MnO . Наибольшее влияние на изменение баланса вещества оказывает поведение кремнекислоты. Этот компонент менее подвижен по сравнению с оксидами натрия и калия. Однако абсолютное количество выноса ($кг/м^3$) кремнекислоты достигает 899 для гранитов и 988 для полимиктовых песчаников, в то время как суммарный вынос щелочных и щелочноземельных оксидов редко достигает десятков килограмм из кубического метра [21]. Формируется вертикальная минералогическая зональность.

2. В аргиллизитах содержание глинистой фракции обычно не превышает 30 %, а эффективная пористость (в условиях привноса вещества) может колебаться от 10 до 16–20 %. В зрелых горизонтах коры выветривания содержание глинистой фракции порой достигает 70–95 % при эффективной пористости 40–60 %.

3. Отмечаются существенные различия типоморфных особенностей минералов:

квариц в аргиллизитах – свежего облика с алмазным блеском, иногда двухголовчатый и рисовидный; **в корях выветривания** – корродирован, покрыт гипергенной пленкой, обохрен, поверхность матовая, порой наблюдаются следы частичного растворения.

каолинит в аргиллизитах – образует псевдогексагональные скопления с ровными краями и одинаковой толщиной пластинок; отмечено обрастание кристаллов каолинита гидрослюдой; **в корях выветривания** – характерны агрегатные скопления, состоящие из мелких частиц изометричной, удлиненной и неправильной формы; отмечаются псевдогексагональные выделения; толщина пластинок непостоянная, уменьшающаяся к периферии; края хлопьевидные. Кроме того, типоморфными глинистыми минералами аргиллизитов являются *диккит* и *накрит*.

4. Резкое различие корреляционных связей золота:

в аргиллизитах – золото присутствует как в свободном виде, так и в сульфидах (в пирите, арсенопирите), что определяет корреляцию рудоносных элементов с серой;

в корях выветривания – преобладает свободное золото, коррелируемое с гидроксидами железа и другими гипергенными минералами.

Пирит, связанный с аргиллизитовым процессом, имеет ряд типоморфных особенностей [12, 16]. Среди них можно отметить следующие: 1) разнообразие морфотипов (кубы, пентагондодекаэдры, октаэдры, икосаэдры, комбинированные формы) при общем преобладании кубов и комбинаций на их основе; 2) присутствие новообразованных минеральных фаз на поверхности кристаллов, представленных самородными металлами (Au, Cu, Cu-Zn, Pb, W), сульфидами (галенит, арсенопирит, сфалерит и др.), арсенидами и сульфидарсенидами, сульфосолями (блеклые руды, цинкит), теллуридами (гессит, алтаит, теллуросимутин, науманит и др.), баритом, монацитом, иногда углеродистым веществом (битумы); 3) частое присутствие в составе Ni, Co, As

и некоторых других элементов без выделения автономных фаз. Такой пирит нередко золотоносен и может содержать высокие концентрации ряда элементов (As, Hg, Co, Ni, Cu, Pb, Sb, Mo, Ba, РЗЭ и др.), что, вероятно, связано с наличием микровключений.

Типоморфизм и типохимизм самородного золота

Вопросы типоморфизма и типохимизма самородного золота приобретают решающее значение при обсуждении рассматриваемой проблемы. Обобщение результатов исследований с привлечением опубликованных данных позволяет охарактеризовать особенности самородного золота ряда уральских золоторудных объектов, завершающие этапы формирования которых авторы параллелизуют с процессами посторогенной (мезозойской) ТМА (табл. 2). Приведенные сведения позволяют отметить следующее.

В минерализованных зонах *аргиллизированных пород* обычно присутствует самородное золото мелких и тонких классов ($-0,15+0,05$ мм и мельче), крайне редко отмечено появление более крупных золотинок (класс $+0,25$ мм). Преобладающая форма выделений объемная (комковидно-гнездовая, комковидно-угловатая), реже уплощенная (прожилково-пластинчатая, прожилково-пленочная, брусковидная). Отдельные золотины имеют идиоморфные и гемиидиоморфные очертания. Присутствуют скелетные, расщепленные, дендритовидные кристаллы. В некоторых золотинах отмечены ступени роста.

Морфологические разновидности золота из минерализованных аргиллизированных пород (на примере Верхотурского, Зверевского участков и Воронцовского месторождения) приведены на рис. 2–4. Характерным признаком изученного металла является широкий диапазон колебаний пробы – от электрума и низкопробного до высокопробного и весьма высокопробного (рис. 2, 3). Среди элементов-примесей установлены Cu, Hg, Fe.

При изучении золота из аргиллизированных пород на площади Екатерининского рудно-россыпного узла выявлен металл не характерного для региона состава [13, 14]: ртутистое золото (Hg 4,91–13,14 %), представленное пористыми и губчатыми агрегатами неправильной формы; купроаурид (Cu 26,2 %) в виде мелких дендритовидных обособлений; медистое ртутьсодержащее золото (Cu 4,0 %, Hg 1,58 %) в виде включений в зернах купроаурида; оловянистое золото (Sn 1,16–10,21 %, Cu 0,0–4,11 %) в виде агрегатов сложной формы; сурьмянистое золото (Sb 0,40–2,02 %); хунчинит (Pb_2Au ; Pb 30,07–31,84 %) в сростках с золотом различного состава.

Самородное золото *остаточного типа в рудоносных корях выветривания* принципиально не отличается по морфологии частиц от описанных ранее. Здесь также доминируют золотины комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой, отчасти уплощенно-комковидной формы. Однако характерна существенно иная гранулометрия изученного металла, где помимо мелкого и тонкого золота значительное количество приходится на классы $+0,50$ мм и даже $+1,00$ мм. Диапазон колебаний пробы более узкий. Практически отсутствует низкопробный металл. Золотины обохрены, покрыты гипергенной пленкой. По периферии зерен иногда формируется высокопробная кайма, появляются межзерновые прожилки. Элементы примеси в золоте соответствуют коренным рудам.

Самородное золото из *перемещенных кор выветривания* принципиально не отличается по форме выделений от уже описанных, хотя и содержит ряд особенностей. При изучении металла, извлеченного при промывке пород карстового заполнения на Воронцовском месторождении, установлено [16]: срастание золота с сопутствующими в коренных рудах минералами (пиритом, блеклыми рудами, теллуридами и др.), признаки перемещения золотинок – в виде борозд и параллельной штриховки; обмятость и развальцевание краев и т. д.

На Верхотурском участке в верхних горизонтах мезозойского элювия установлено присутствие золота нескольких типов. Большая часть приходится на золото рудного облика, в том

числе в сростании с кварцем, содержащее ступени роста (рис. 5, а–г). В значительном количестве встречены золотины повышенной крупности, имеющие своеобразный «псевдоокатанный» облик (порой с загнутыми и развальцованными выступами, тонкошагреневой поверхностью) (рис. 5, д–з). Появление подобных золотин на водораздельных участках мезозойского пенеплена обусловлено совокупностью факторов [11, 19]. При пенепленации региона на участках развития минерализованных пород проявился эффект просадки высвободившихся при выветривании частиц золота повышенной крупности с последующим их накоплением в верхних горизонтах мезозойского элювия.

Помимо отмеченного в зоне элювия встречены золотины «оплавленного» облика. Их поверхность абсолютно гладкая, не несущая признаков более позднего гипергенного преобразования (рис. 5, и–м). Такая особенность связана с выделением тонкой пленки низкопробного золота (проба 556 ‰) на поверхности золотин (с уже ранее сформированной высокопробной каймой) при проявлении наложенных низкотемпературных гидротермальных процессов. Признаки термального воздействия на золотины в зоне элювия также проявились в виде сглаженных выступов ребер и скульптур роста, формировании дезинтегрированных агрегатов золотин, появлении по периферии зерен зон с признаками диффузионного перераспределения золота и серебра по контурам мозаичных блоков.

В корях выветривания некоторых объектов наблюдалось новообразованное золото, представленное пленками и мелкими частицами охристо-коричневого цвета. Это «горчичное» золото принято рассматривать как продукт распада золотосодержащих сульфидов (возможно, теллуридов). В других случаях (на Воронцовском месторождении) установлено нарастание «нового» золота гипергенной природы на поверхности золотин с образованием сплошных или прерывистых пленок и «губчатых» образований (рис. 4, з, и). Формирующие эти пленки тонкие частицы (размером в десятки нанометров) имеют округлую, изометричную, удлиненно-призматическую и иную форму.

Основные выводы

Своеобразие объектов гипогенно-гипергенного типа проявляет себя: а) в особенностях формы и условий залегания залежей – преобладающая субпластовая, подчиненная элементам слоистости, сланцеватости (или дислоцированности) пород; границы рудных тел обосновываются только по данным опробования; б) в своеобразии фазового состава золота (преобладает мелкое, тонкодисперсное, субмикроскопическое золото при широком диапазоне колебаний пробыности; в) в «нестандартном» (по сравнению с плутогенно-гидротермальными объектами) строении геохимических ореолов, обрамляющих рудные тела.

Приведенные материалы позволяют целенаправленно подходить к разработке моделей формирования нетрадиционного золотого оруденения гипогенно-гипергенного типа, выявленного в пределах ряда рудовмещающих структур Урала. Накопленные факты свидетельствуют в пользу регионального, а не узлокального характера этих рудоконцентрирующих процессов. В основе выполненных обобщений лежит концепция, обосновывающая продолжение в пределах отдельных геологических структур рудно-метасоматических процессов на постколлизийном этапе развития, а также сопряженность (временная, пространственная) с масштабными проявленными гипергенными преобразованиями пород и уже ранее сформированных коренных руд.

Объективная оценка *относительной роли* низкотемпературного гидротермального метасоматоза аргиллизитовой формации и продуктов химического выветривания имеет не только научное, но и прикладное значение для интерпретации генезиса многих золоторудных объектов и целенаправленного проведения прогнозно-поисковых и оценочных работ на Урале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А. и др. Месторождения золота Урала / Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
2. Коротеев В. А., Сазонов В. Н. Геодинамика, рудогенез, прогноз (на примере Урала). Екатеринбург: Изд-во ИГиГ УрО РАН, 2005. 259 с.
3. Грязнов О. Н., Савельева К. П., Костромин Д. А. Золотоносные аргиллизиты Светлинского месторождения и коры выветривания // Изв. вузов. Геология и разведка, 1995. № 5. С. 68–83.
4. Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Савельева К. П. Нетрадиционные типы золото-аргиллизитового оруденения в мезозойских структурах // Изв. УГГУ. 2007. Вып. 22. С. 41–53.
5. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Изв. УГГГА. Сер. Геология и геофизика. 1998. Вып. 8. С. 94–99.
6. Баранников А. Г., Угрюмов А. Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенеза мезозоя Урала // Литосфера, 2003. № 1. С. 13–26.
7. Грязнов О. Н., Вахрушев С. Н. Золото-аргиллизитовая формация Урала // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 73–84.
8. Душин В. А. Активизированные шовные зоны – новый перспективный объект благороднометаллической металлогении на Полярном Урале // Региональная геология и металлогения, 2006. № 29. С. 73–87.
9. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.
10. Арифупов Ч. Х., Арсентьева И. В., Ожерельева А. В. Золоторудные месторождения черносланцевых отложений Южного Урала. М.: ЦНИГРИ, 2013. 108 с.
11. Баранников А. Г. Золотоносные рудно-россыпные узлы Урала (проблемы переоценки их перспектив на новые и нетрадиционные типы оруденения) // Геология и полезные ископаемые Урала: к 90-летию кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. С. 53–72.
12. 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. 2013. Issue 79. P. 463–467.
13. Александров В. В. Благороднометаллическое оруденение нетрадиционного типа Екатеринбургского рудно-россыпного узла (Северный Урал): автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2012. 21 с.
14. Александров В. В., Баранников А. Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в пределах Екатеринбургского рудно-россыпного узла (Северный Урал) // Литосфера, 2012. № 1. С. 161–165.
15. Савельева К. П., Баранников А. Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома на Северном Урале // Литосфера. 2006. № 2. С. 157–165.
16. Баранников А. Г., Азовскова О. Б. Рудоносный карст мезозойского возраста Воронцовского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 2016. № 2. С. 84–99.
17. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model // Ore Geology Reviews. 2016.
18. Лежепеков М. А. Золотоносные рудно-россыпные узлы южной части Сурынско-Промысловской минерагенической зоны: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 22 с.
19. Баранников А. Г., Букрин Г. А., Кузнецов В. Н., Шуб В. С. Модель концентрации свободного золота в мезозойском элювии // Геология рудных месторождений, 1992. № 3. С. 99–103.
20. Риндзюнская Н. М., Берзон Р. О., Полякова Т. П. и др. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корях выветривания. М.: ЦНИГРИ, 1995. 128 с.
21. Шуб В. С., Баранников А. Г., Шуб И. З. и др. Золото Урала. Россыпные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 135 с.

REFERENCES

1. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A. et al. 2001. *Mestorozhdeniya zolota Urala* [The deposit of the Ural Gold], Ekaterinburg, 622 p.
2. Koroteev V. A., Sazonov V. N. 2005. *Geodinamika, rudogenez, prognoz (na primere Urala)* [Geodynamics, oreogenesis, forecast (on the example of the Urals)], Ekaterinburg, 259 p.
3. Gryaznov O. N., Savel'eva K. P., Kostromin D. A. 1995. *Zolotonosnye argillizity Svetlinskogo mestorozhdeniya i kory vyvetrivanija* [Gold-bearing argillizites of the Svetlinsky deposit and weathering crust]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 5, pp. 68–83.
4. Gryaznov O. N., Barannikov A. G., Savel'eva K. P. 2007. *Netraditsionnye tipy zoloto-argillizitovogo orudneniya v mezozoykikh strukturakh* [Non-traditional types of gold-argillizite mineralization in Mesozoic structures]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 22, pp. 41–53.
5. Barannikov A. G. 1998. *Gipogenno-gipergennyj tip zolotogo orudneniya na Urale* [Hypogene-supergene type of gold mineralization in the Urals]. *Izv. UGGGA. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining University. Series Geology and Geophysics], no. 8, pp. 94–99.
6. Barannikov A. G., Ugrumov A. N. 2003. *Problemy endogennogo zolotogo*

- rudogeneza mezozoya Urala* [Problems of endogenic gold oreogenesis of the Mesozoic of the Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 1, pp. 13–26.
7. Gryaznov O. N., Vakhrushev S. N. 1997, *Zoloto-argillizitovaya formatsiya Urala* [Gold-argillizite formation of the Urals]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 2, pp. 73–84.
8. Dushin V. A. 2006, *Aktivizirovannye shovnyye zony – novyye perspektivnyye ob'ekty blagorodnometall'noy metallogenii na Polyarnom Urale* [Activated suture zones - a new promising object of noble-metal metallogeny in the Polar Urals]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 29, pp. 73–87.
9. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh pojasov* [Ore-bearing metasomatic formations of folded belts], Moscow, 256 p.
10. Arifulov Ch. Kh., Arsent'eva I. V., Ozherel'eva A. V. 2013, *Zolotorudnyye mestorozhdeniya chernoslantsevyykh otlozheniy Yuzhnogo Urala* [Gold ore deposits of black shale deposits of the Southern Urals], Moscow, 108 p.
11. Barannikov A. G. 2012, *Zolotonosnye rudno-rossyprnye uzly Urala* (problemy pereotsenki ikh perspektiv na novye i netraditsionnye tipy orudneniya) [Gold-bearing ore-placer nodes of the Urals (problems of reassessing their prospects for new and non-traditional types of mineralization)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Urala: k 90-letiyu kafedry geologii, poiskov i razvedki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Geology and minerals of the Urals: on the 90th anniversary of the Department of Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits], Ekaterinburg, pp. 53–72.
12. Azovskova O. B., Malyugin A. A., Nekrasova A. A., Yanchenko M. Yu. 2013, Pyrite from zones of Mz–Kz reactivation of large faults on the eastern slope of the Ural Mountains, Russia. *WASET. Engineering and Technology*, no. 79, pp. 463–467.
13. Aleksandrov V. V. 2012, *Blagorodnometall'noe orudnenie netraditsionnogo tipa Ekaterininskogo rudno-rossyprnogo uzla (Severnyy Ural): avtoref. dis. kand. geol.-mineral. nauk* [Noble metal mineralization of the unconventional type of the Ekaterinburg ore-placer node (Northern Urals): author's abstract of the dissertation of candidate of geology-mineralogy sciences], Ekaterinburg, 21 p.
14. Aleksandrov V. V., Barannikov A. G. 2012, *Zolotoe orudnenie netraditsionnogo tipa v predelakh Ekaterininskogo rudno-rossyprnogo uzla (Severnyy Ural)* [Gold mineralization of a non-traditional type within the Ekaterinburg ore-placer site (Northern Urals)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 1, pp. 161–165.
15. Savel'eva K. P., Barannikov A. G. 2006, *Zolotoe orudnenie netraditsionnogo tipa v zone Serovsko-Maukskogo glubinnogo razloma na Severnom Urale* [Gold mineralization of unconventional type in the Serov-Mauk deep fault zone in the Northern Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 157–165.
16. Barannikov A. G., Azovskova O. B. 2016, *Rudonosnyy karst mezozoyskogo vozrasta Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [The ore-bearing karst of the Mesozoic age of the Vorontsovsky gold deposit]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 2, pp. 84–99.
17. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Ravnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model. *Ore Geology Reviews*. 2016.
18. Lezhepekov M. A. 2006, *Zolotonosnye rudno-rossyprnye uzly yuzhnoy chasti Sur'insko-Promyslovskoy mineragenicheskoy zony: avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk* [Gold-bearing ore-placer nodes of the southern part of the Surinsky-Promyslovsky mineralogical zone: author's abstract of the dissertation of candidate of geology-mineralogy sciences], Ekaterinburg, 22 p.
19. Barannikov A. G., Bukrin G. A., Kuznetsov V. N., Shub V. S. 1992, *Model' kontsentratsii svobodnogo zolota v mezozoyskom elyuvii* [The model of free gold concentration in Mesozoic eluvium]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], no. 3, pp. 99–103.
20. Rindzyunskaya N. M., Berzon R. O., Polyakova T. P. et al. 1995, *Geologo-geneticheskie osnovy prognoza i poiskov mestorozhdeniy zolota v korakh vyvetriviya* [Geological and genetic foundations of forecasting and prospecting for gold deposits in weathering crusts], Moscow, 128 p.
21. Shub V. S., Barannikov A. G., Shub I. Z. et al. 1993, *Zoloto Urala. Rossyprnye mestorozhdeniya (k 250-letiyu zolotoy promyshlennosti Urala)* [Gold of the Urals. Placer deposits (to the 250th anniversary of the gold industry of the Urals)], Ekaterinburg, 135 p.

Александр Григорьевич Баранников,
barfam1@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Оксана Борисовна Азовскова,
oazovskova@yandex.ru
Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Aleksandr Grigor'evich Barannikov,
barfam1@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Oksana Borisovna Azovskova,
oazovskova@yandex.ru
Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia