

ЗОЛОТО КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ СУЗДАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Казахстан)**Ю.А. Калинин, К.Р. Ковалев, Е.А. Наумов, М.В. Кириллов***Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Проведен сравнительный анализ морфологических и геохимических особенностей золота из первичных руд и коры выветривания Суздальского малосульфидного золоторудного месторождения в Восточном Казахстане. Месторождение залегает в углеродисто-терригенных толщах карбона и относится к золото-сульфидному типу. Изучение золота первичных руд позволило выявить две основные формы его нахождения — свободное и, так называемое, невидимое. Свободное золото размерами до десятков микрон представлено кристалломорфными выделениями и зернами неправильной формы, встречаясь в сростках с сульфидами, кварцем, карбонатом и слюдисто-хлоритовым агрегатом. Основная масса золота имеет пробыность 930—980 ‰, причем в пределах отдельных зерен наблюдаются широкие вариации состава. Невидимое золото присутствует в тонкоигльчатом арсениопирите и реже в пирите в виде микроили наночастиц, возможно, в химически связанном состоянии.

Попадая в обстановку коры выветривания, все это золото служило источником для «новообразованного» золота, отличающегося большим разнообразием морфологических форм. Выделены кристаллические индивиды (изометричное, призматическое, игльчатое, пластинчатое) и друзовидные агрегаты золота в виде экзотических сростков кристалломорфных и натечно-скорлуповатых форм. Отмечается тенденция укрупнения зерен к верхним частям коры выветривания. Устанавливается несколько генераций золота различных гранулометрических классов. На кристаллах ранних генераций выявляются структуры растворения и структуры зародышевого и слоевого роста, а также нарастания мелких зерен и кристаллов. Все эти разновидности золота ассоциируют с гипергенными минералами. Основная масса золота представлена высокопробной разностью (средняя пробыность 995 ‰). Гипергенное золото химически однородно, характеризуется высокой пробыностью по всему объему золота, без каких-либо каемок и оторочек.

Проведенные исследования позволяют полагать, что формирование высокопробного гипергенного золота в коре выветривания происходило в условиях значительного растворения невидимого золота сульфидов, его локального перераспределения и отложения в окислительных условиях. В пользу этого свидетельствует и отмечаемая тенденция увеличения размерности золота к верхним горизонтам коры выветривания. Отличительной особенностью вторичного золота является хорошо выраженные кристаллические формы и большое их разнообразие.

Кора выветривания, типоморфные особенности гипергенного золота, Суздальское золоторудное месторождение, Восточный Казахстан.

GOLD IN THE WEATHERING CRUST AT THE SUZDAL' DEPOSIT (Kazakhstan)**Yu.A. Kalinin, K.R. Kovalev, E.A. Naumov, and M.V. Kirillov**

A comparative analysis of morphology and geochemistry was made for gold from the primary ores and weathering crust of the Suzdal' low-sulfide gold deposit, Eastern Kazakhstan. The deposit is localized in Carboniferous carbonaceous-terrigenous strata and is of gold-sulfide type. Study of gold from primary ores showed that it occurs mainly in two species: free and so-called invisible. Free gold is crystallomorphic segregations and irregular-shaped grains up to tens of microns in size; it occurs in intergrowths with sulfides, quartz, carbonate, and mica-chlorite aggregate. Most of gold particles have a fineness of 930—980 ‰, with some grains showing wide variations in composition. Invisible gold (probably chemically combined) is present in fine-acicular arsenopyrite and, less frequently, pyrite. Being transported to the weathering crust, all this gold served as a source for “neogenic” gold of diverse morphologic forms. We recognized crystalline (isometric, prismatic, acicular, and tabular) particles and drusoid gold aggregates in the form of exotic intergrowths of crystallomorphic and sinter-shelly grains. The grains tend to coarsen from bottom to top of the weathering crust. Several generations of gold of different granulometric classes are observed. We have revealed seed and layer growth and dissolution structures as well as overgrown fine grains and crystals on the crystals of early generations. All these gold varieties are associated with hypergene minerals. Most of this gold is of high fineness (on the average, 995 ‰). The hypergene gold particles are chemically homogeneous high-grade, without rims. The results of studies suggest that the high-grade hypergene gold formed in the weathering crust as a result of the dissolution of invisible gold of sulfides and its local redistribution and deposition in oxidizing media. This is also evidenced from the tendency of gold to coarsen from bottom to top of the weathering crust. A distinctive feature of secondary gold is well-expressed crystals and their great diversity.

Weathering crust, typomorphic features of hypergene gold, Suzdal' gold deposit, Eastern Kazakhstan

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой в геохимии золота является его поведение в экзогенных условиях. Накопленный фактический материал по золотоносным корам выветривания с каолиновым и каолинит-гидрослюдистым профилями, а также значительный литературный массив данных по различным климатическим и геоморфологическим зонам, включая латеритные коры выветривания тропического пояса Земли, позволяет говорить фактически о новом облике гипергенной геохимии золота в связи с достаточно высокой его мобильностью, способностью изменять свои минеральные и растворимые формы, концентрироваться на геохимических барьерах.

Вопрос о масштабах процессов растворения, перераспределения и образования нового золота остается дискуссионным. Остаются недостаточно изученными отличительные признаки гипергенного и эндогенного золота. Настоящее исследование посвящено сравнительному анализу морфологических и геохимических особенностей золота из первичных руд и коры выветривания Суздальского золоторудного месторождения в Восточном Казахстане с целью выявления комплекса признаков гипергенной природы золота и оценки масштабов его перераспределения.

Суздальское месторождение относится к разряду крупных золоторудных объектов Казахстана, уникальность которого обусловлена промышленной значимостью золотоносной коры выветривания, к настоящему времени полностью отработанной. Именно это обстоятельство побудило нас обобщить накопленные материалы по Суздальскому месторождению с упором на типоморфизм самородного золота из коры выветривания.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ РАЙОНА

Суздальское месторождение располагается в Восточном Казахстане, в пределах Западно-Калбинского золотоносного пояса (ЗКЗП), протягивающегося в северо-западном направлении на 800 км при ширине 30—100 км (рис. 1). В черносланцевых терригенно-карбонатных толщах карбонового возраста ЗКЗП сосредоточены десятки месторождений и сотни рудопроявлений золота различных формационных типов. На северо-востоке он граничит с редкометальным Калба-Нарымским, а на юго-западе — с медь-золото-редкометальным Жарма-Саурским поясами, отделяясь от них региональными глубинными разло-

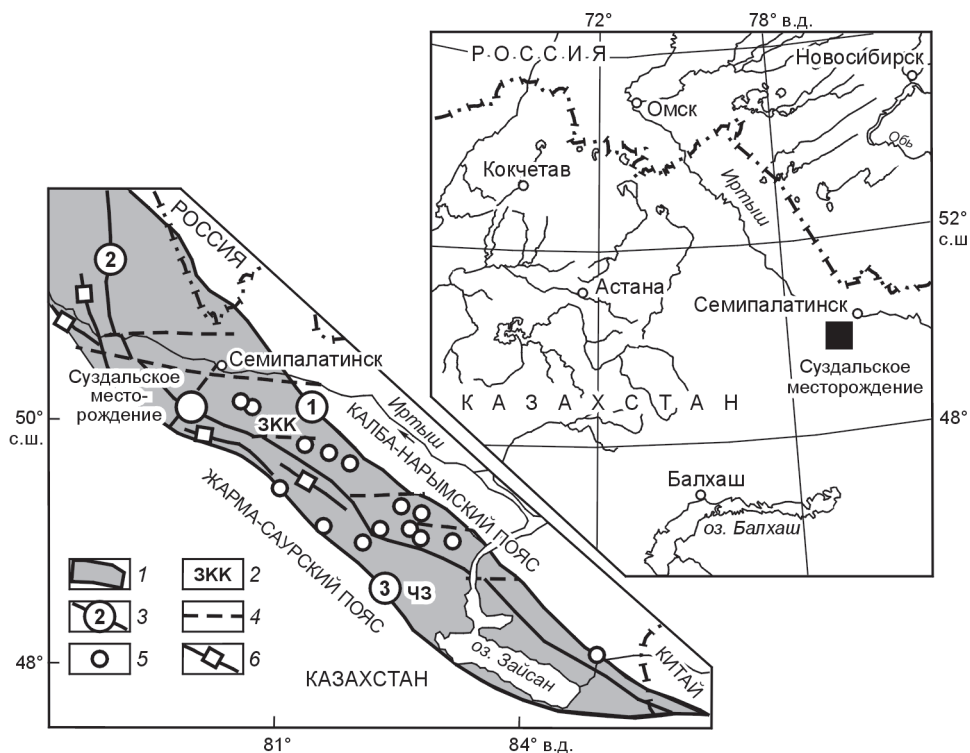


Рис. 1. Схема расположения Суздальского месторождения. Основные тектонические структуры и минеральные типы месторождений Западно-Калбинского пояса [Большой Алтай..., 2000].

1 — Западно-Калбинский пояс; 2 — металлогенические зоны: ЗКК — Западно-Калбинско-Коксентауская; ЧЗ — Чарско-Зимунайская; 3 — главные разломы: 1 — Теректы-Улунгурский, 2 — Чарско-Горностаевско-Зимунайский, 3 — Байгузин-Булакский; 4 — второстепенные разломы; 5 — золоторудные месторождения; 6 — Cr-Co-Ni-Hg-зоны минерализации.

мами. Особенности геодинамического развития региона подробно рассмотрены во многих работах [Берзин и др., 1994; Большой Алтай..., 1998, 2000; Добрецов, 2003; Буслов и др., 2003]. Он характеризуется сложным геологическим строением и представлен аллохтонными и автохтонными комплексами ордовика, девона и карбона. В пределах ЗКЗП выделяются две металлогенические зоны, разделенные Чарско-Горностаевско-Зимунайским глубинным разломом: на юго-западе — Чарско-Зимунайская с никель-кобальт-золоторудной минерализацией и на северо-востоке — Западно-Калбинско-Коксентауская с золоторудной минерализацией (см. рис. 1). Суздальское месторождение приурочено к северо-западному сочленению двух этих зон.

Герцинские структуры ЗКЗП формировались в осевой части Иртыш-Зайсанского океанического бассейна в интервале средний ордовик—поздний карбон на блоках меланжированного фундамента океанического типа [Полянский и др., 1979]. В пределах пояса сохранились фрагменты океанической коры и окраин палеоокеана, перекрытые коллизионными покровными сооружениями раннего карбона. В позднем карбоне на завершающей стадии герцинского цикла в предколлизионный период в результате замыкания бассейна формировались породы граувакковой алевритопесчаниковой молассоидной формации. В пределах Западно-Калбинско-Коксентауской и Чарско-Зимунайской зон широким развитием пользуются черносланцевые толщи нижнего—верхнего карбона. Окончательно пояс сформировался в стадию герцинской кратонизации в процессе тангенциального сжатия и сближения Казахстанской и Алтае-Синьцзянской континентальных окраин [Усыпенко, Дьячков, 2003]. Аккреционно-коллизийные процессы на этой территории сопровождалась формированием континентальных моласс и внедрением даек и интрузий плагиигранит-гранодиоритового состава позднекарбонного возраста, относимых к кунушскому комплексу.

В начале мезозоя территория представляла континентальную плиту с локальными очагами щелочного магматизма, проявленного в Семейтауской кольцевой вулканоплутонической структуре, расположенной на северо-западной оконечности ЗКЗП.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Сведения о месторождении представлены в работах [Бегаев, Степаненко, 1995; Малыгин и др., 1995; Зейлик, 2001; Нарсеев, 2002; Калинин и др., 2006; Ковалев и др., 2006]. По формационной принадлежности оно относится к золото-сульфидному прожилково-вкрапленному типу [Рафаилович и др., 1998]. Существует несколько точек зрения на генезис месторождения, его возраст и связь с различными типами магматизма. А.А. Малыгин с соавторами [1995] связывают оруденение с магматизмом Семейтауской вулканоплутонической структуры, формирование которой происходило в связи с мезозойской активизацией в узле пересечения Чарско-Горностаевско-Зимунайского и субширотных глубинных разломов. Связь с этой структурой, имеющей кольцевое строение, рассматривается и с позиции импактно-гидротермального происхождения [Зейлик, 2001]. В.А. Нарсеев [2002], выделивший зону Суздаль-тренд как аналог Карлин-тренда, рассматривал Суздальское месторождение как продукт автономно-тектонимагматически-активизационного (плюмового) процесса. Большинство же исследователей формирование Суздальского месторождения, как и других золоторудных месторождений Западно-Калбинского пояса, традиционно связывают с интрузиями гранодиорит-диоритового состава кунушского комплекса [Усыпенко, Дьячков, 2003; Борцов и др., 2005; Дьячков и др., 2005]. По нашим представлениям, месторождение сформировалось в результате многоактных процессов, связанных с первичным накоплением рудного вещества и последующими проявлениями гидротермальной минерализации в условиях тектономагматической активизации [Kovalev et al., 2007].

Месторождение непосредственно локализовано в зоне сочленения Суздальского разлома северо-восточного простирания и глубинного Чарско-Горностаевско-Зимунайского разлома северо-западного простирания. Рудовмещающие породы флишоидно-турбидитового строения представлены углеродистыми органогенными известняками и доломитами, известковистыми гравелитами и песчаниками, седиментационными полимиктовыми брекчиями, углеродистыми известковисто-кремнистыми песчаниками и алевропеллитами, относимыми к аркалыкской и серпуховской свитам нижнего карбона. На северо-востоке эти отложения надвинуты на более молодые молассоидные породы майтубинской свиты, относимые к среднему карбону. С северо-запада месторождение примыкает к Семейтауской кольцевой вулканотектонической структуре триасового возраста, сложенной породами риолит-трахибазальт-трахилипаритовой формации.

Оруденение на месторождении контролируется Суздальским разломом и располагается в протяженной на 4 км зоне шириной 300—400 м (рис. 2). В пределах ее выделяются 4 кулисообразные рудные зоны с углами падения на юго-восток от 40° до 90°. В восточной части месторождения, где сосредоточены рудные зоны 1—3, в рудовмещающем разрезе широко представлены известковистые породы с обильной пришельфовой фауной. В пределах рудных зон выделяются секущие или субсогласные линзообраз-

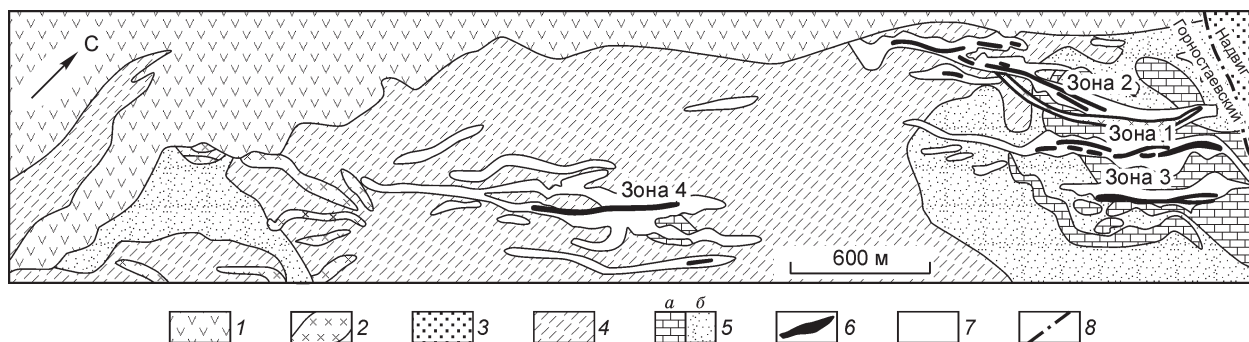


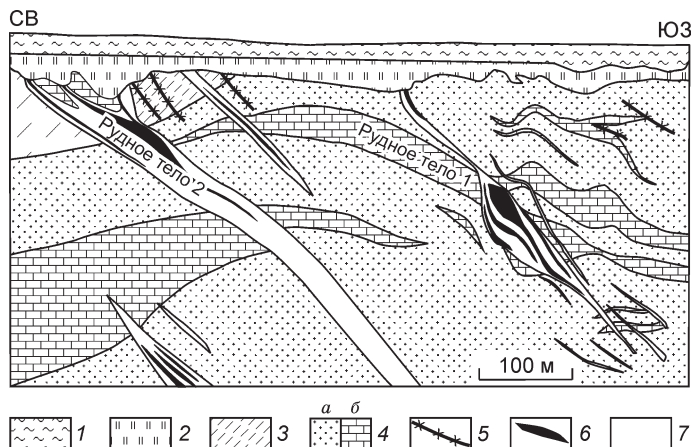
Рис. 2. Схематическая геологическая карта Суздальского месторождения, по И.В. Бегаеву [Большой Алтай..., 2000]

1 — вулканические породы семейтауской свиты (T_1); 2 — гранит-порфиры и диориты ($T?$); 3 — молассы майтобинской свиты (C_2); 4 — песчаники, углеродистые алевролиты серпуховского яруса (C_1); 5 — известняки органогенные (а), туфопесчаники, алевролиты (б) аркалыкской свиты (C_1); 6 — рудные тела; 7 — слабоминерализованные зоны; 8 — зона надвига.

ные рудные тела мощностью от 1 до 40 м, прослеженные на глубину до 400 м (рис. 3). Границы рудных тел выделяются только по данным опробования. Богатое оруденение (с содержаниями золота до первых сотен г/т) распространено крайне неравномерно. Околорудные изменения проявлены слабо в виде серицитизации и окварцевания известняков, углеродистых песчаников и алевропелитов. Первичные ореолы во вмещающих породах, проявленные на расстоянии 100—150 м, характеризуются содержаниями золота до 0.п г/т. В пределах рудной зоны 2 (см. рис. 2) подземными выработками вскрыты дайки измененных гранит-порфиров, содержащих слабозолотоносную пирит-арсенопиритовую минерализацию.

Руды Суздальского месторождения относятся к золото-сульфидному минеральному типу с содержанием сульфидов от 0.5 до 10—15 %. По своим генетическим особенностям месторождение близко к таким крупным золоторудным месторождениям Сибири, как Сухой Лог, Нежданинское, Зун-Холбинское и др. [Бортников и др., 1998; Вуд, Попов, 2006; Жмодик и др., 2006]. По структурно-минералогическим особенностям на Суздальском месторождении выделяются три основных типа руд: 1) оруденелые полимиктовые брекчии, нередко известковистые; 2) интенсивно окварцованные брекчированные породы; 3) сульфидизированные песчаники и углеродистые алевропелиты. В брекчированных породах, слагающих наиболее богатые рудные зоны 1, 3, преобладает свободное золото. В сульфидизированных песчаниках, представленных преимущественно в рудных зонах 2, 4, золото находится в основном в арсенопирите в невидимой (invisible) форме.

Главными минералами эндогенных руд месторождения являются пирит и арсенопирит. Второстепенные минералы представлены марказитом, пирротинном, антимонитом, халькопиритом, блеклыми рудами, сфалеритом, галенитом, рутилом и ильменитом. Из редких минералов встречены никелин, ульманит, виллимит, ауристбит, самородная сурьма. Нерудные минералы представлены кварцем, кальцитом, доломитом, серицит-мусковитом, Fe-Mg-хлоритом, второстепенными баритом, апатитом и более редкими гранатом, тремолитом, Cr-шпинелью, монацитом, апатитом, шеелитом. На месторождении проявлена поздняя кварц-карбонат-сурьмяная минерализация, наложенная на первичные золотосодержащие сульфидные руды. Типовыми элементами-примесями руд являются никель, кобальт, титан, ванадий и вольфрам. Характерно, что содержания серебра в рудах не превышают 1.5 г/т. Нейтронно-активационным и



РФА-СИ методами элементы платиновой группы (Pt, Pd, Rh, Os, Ir) зафиксированы на уровне кларковых значений.

Рис. 3. Геологический разрез Суздальского месторождения по рудным телам 1, 2, по И.В. Бегаеву [Большой Алтай..., 2000].

1 — аллювий; 2 — кора выветривания; 3 — углеродистые сланцы и песчаники серпуховского яруса; 4 — известняки (а) и известковистые алевролиты и песчаники (б) аркалыкской свиты; 5 — гранит-порфиры; 6 — рудные тела; 7 — слабоминерализованные зоны.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СОСТАВ РУДНОГО ЗОЛОТА

В настоящее время на Суздальском месторождении разрабатываются первичные золото-сульфидные руды, содержащие как свободное, так и невидимое золото в арсенопирите и пирите. Наличие такого «упорного» золота в рудах обусловило применение на месторождении технологий бактериального окисления и сорбционного выщелачивания.

Золото анализировалось из руд различных горизонтов месторождения (горизонты +262 м, +220 м, +190 м и +160 м). Состав, микрокристалломорфологические особенности золота, ассоциации с рудными и жильными минералами изучались микроскопически в отраженном свете, под бинокляром, рентгеноспектральным методом на приборе Cameca и на сканирующем электронном микроскопе LEO 01430VP, снабженном энергодисперсионным спектрометром (EDS) фирмы OXFORD.

Невидимое золото. Понятие «невидимого» золота включает в себя не выявляемые оптическими методами тонкодисперсные его классы, к которым могут относиться коллоидальное, кластерное (наночастица) и химически связанное в сульфидах. Главным носителем невидимого золота на Суздальском месторождении является тонкопризматический арсенопирит. Песчаники и углеродистые алевропелиты, насыщенные тонкопризматическими или субмикроскопическими звездчатыми агрегатами арсенопирита, содержат до 40—50 г/т валового золота. Вместе с тем ни под обычным микроскопом, ни на сканирующем электронном микроскопе в таких породах самородное золото не выявляется. При атомно-абсорбционном анализе мономинеральных фракций арсенопирита и на рентгеноспектральном микроанализаторе в нем обнаруживаются содержания Au в пределах 800—1000 г/т. Менее значимые концентрации золота (до 28 г/т) можно найти в мономинеральных фракциях глобулярного пирита.

Свободное золото. Максимальное количество частиц самородного золота преимущественно из фракции -0.25 мм зафиксировано в протолочках минерализованных брекчированных пород. Золото встречается в виде вкраплений в пирите, арсенопирите, кварце и кальците. Характерна ассоциация золота с рутилом, серицитом и хлоритом, а также наблюдаются его нарастания на кристаллах кальцита. Размеры зерен золота варьируют от субмикроскопических выделений до 100—150 мкм при преобладающем — 10—50 мкм (рис. 4). Размерность золота по площади зерен представлена на рис. 5.

«Рудное» золото отчетливо разделяется на два главных морфологических типа: идиоморфное и неправильное [Петровская, 1973]. Каждый из них объединяет серии морфологических видов и разновидностей, различаемых по деталям форм.

Идиоморфное золото в рудах месторождения, в большей степени представленное одиночными кристаллами, реже их сростками, отражает условия свободного роста и встречается в микрогнездах и микротрещинках преимущественно в кварцованных известковистых брекчиях. Золото неправильной морфологии более характерно для слюдисто-хлоритовых агрегатов из брекчированных и прокварцованных сланцев.

Кристаллическое золото характеризуется изометричными, округлыми и кристалломорфными пентагон-додекаэдрического облика зернами (см. рис. 4, А, Б), реже призматическими кристаллами. Часты сочетания форм куба и октаэдра. Это золото характеризуется ровной соломенно-желтой окраской и ярким зеркальным блеском.

Неправильные морфологические типы выделений самородного золота представлены в основном массивно-раковистыми комковидными зернами (см. рис. 4, В, Г). При изучении зерен золота на сканирующем электронном микроскопе выявляются четкие признаки послынного тангенциального роста на гранях кристаллах с зародышевыми элементами и ступенчатым строением. Взаимоотношения кристаллического золота с сульфидными минералами сложные. В одних случаях в золоте встречаются реликты пирита (Ni-Co-As-содержащего), арсенопирита, никелина. В других — на него нарастают кристаллы арсенопирита, рутила, пирита, аурустибита, ульманнита, виллиомита. В рудах переходной зоны месторождения, представляющей по сути сапролит, встречаются нарастания кораллоподобного высокопробного золота на эндогенное сереброе содержащее кристаллическое золото (см. рис. 4, Ж, З). В последнем, кроме того, фиксируются включения неокисленных сульфидов (пирит, арсенопирит). По существующим классификациям такое золото может быть отнесено к гипергенно-измененному [Нестеренко и др., 1985] или к гипергенно-модифицированному [Хазов, Петровский, 2007] генетическому типу, обладающему промежуточными характеристиками между остаточным и новообразованным золотом. Необходимо подчеркнуть, что для данного месторождения доля такого золота невелика. Наложение более поздней сурьмяной минерализации сопровождается появлением сложных парагенезисов с аурустибитом, электрумом, серебристым золотом, арсенопиритом, антимонитом (см. рис. 4, Д, Е).

Нами на рентгеновском микроанализаторе были проанализированы серебро, ртуть и медь в 290 зернах золота, выделенных из различных типов руд (рис. 6, А). Основная масса золотин имеет пробность в интервале 930—980 ‰, причем в пределах отдельных зерен наблюдаются широкие вариации состава. По сравнению с приповерхностными зонами на более глубоких горизонтах рудных тел выявляется предва-

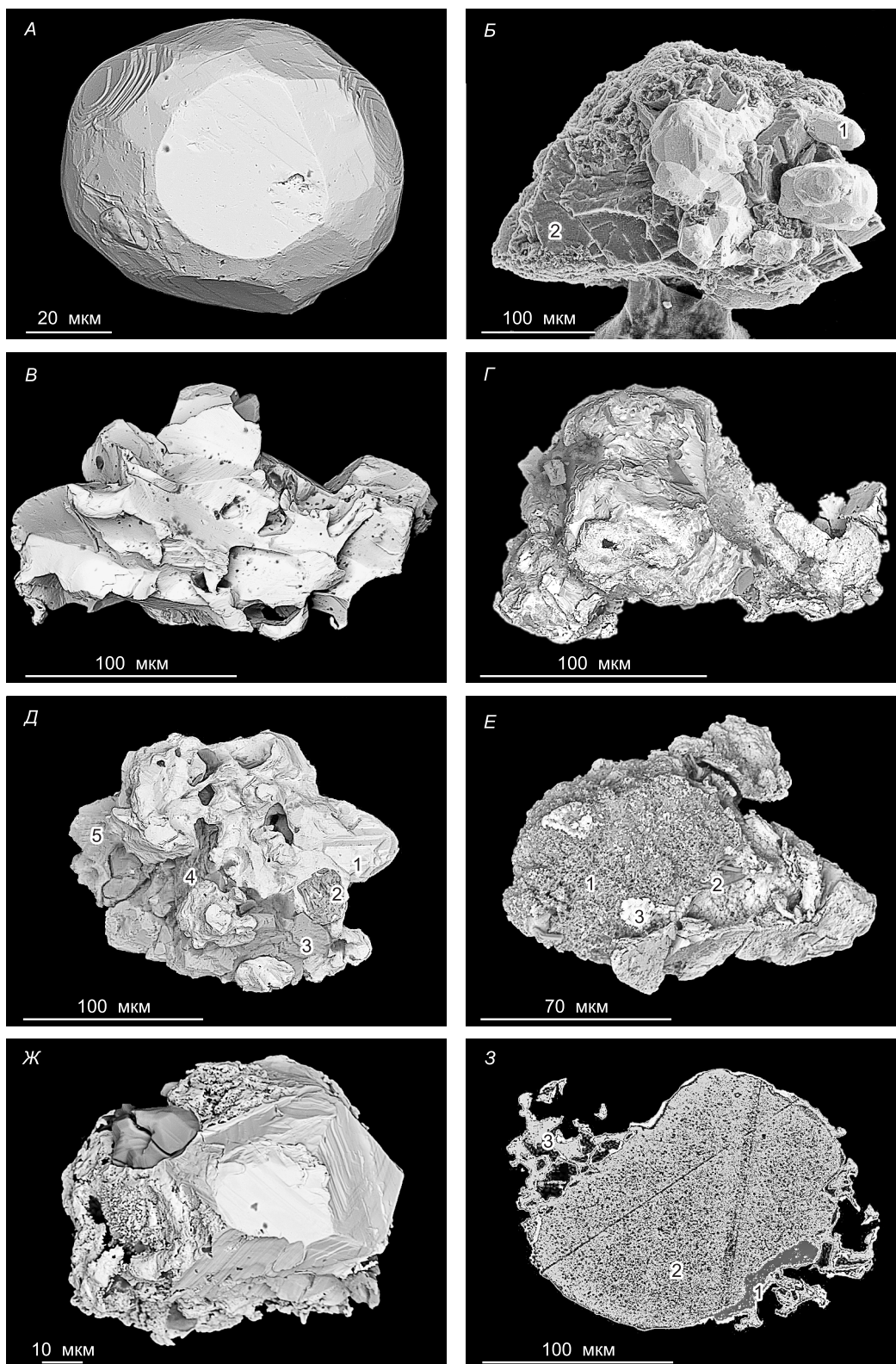


Рис. 4. Морфология и минеральные парагенезисы рудного золота. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

А — кристалл золота пентагон-додекаэдрического облика со ступенями роста на гранях; *Б* — нарастание изометричных кристаллов золота (1) на кальцит (2); *В* — массивно-раковистое золото; *Г* — золото неправильной формы ступенчато-слоистого строения; *Д* — ассоциация Ag-содержащего золота (1) с ульманитом (2), арсенипитом (3), серицитом (4) и кальцитом (5); *Е* — наложение антимонита (1) на агрегат золота (2, 3); *Ж* — обрастание кристалла золота ступенчатого строения коралловидным золотом; *З* — обрастание кристаллического золота различной пробыности (1, 2) коралловидным высокопробным золотом (3). Снято в обратноотраженных лучах. Более темная окраска — золото с более высоким содержанием серебра.

Рис. 5. Гистограмма соотношения размерности эндогенного (1) и гипергенного (2) золота.

N — количество анализов.

рительная тенденция некоторого увеличения пробыности эндогенного золота и уменьшения вариаций ее колебаний. Содержания меди в золоте ниже предела чувствительности прибора (<0.08 мас.%). Ртуть при максимальном значении 0.28 мас.% обнаружена только в единичных пробах золота из приповерхностных частей месторождения.

ХАРАКТЕРИСТИКА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

На месторождении развита мел-палеогеново-го возраста кора выветривания линейного и линейно-площадного морфологических типов, исключительно наглядно в полном разрезе и на всю мощность (60—80 м) представленная в эксплуатационном карьере. Четкие структурные горизонты и стандартная зональность в профиле выветривания затусшеваны, что, вероятно, обусловлено преимущественным развитием гипергенных процессов вдоль тектонических зон. На фоне мозаичного распределения продуктов выветривания по профилю [Калинин и др., 2006] в общем виде сверху вниз можно выделить следующие основные зоны.

1. Пестроцветный элювий, развитый чаще в виде линз и карманов в верхней части профиля выветривания, в основном каолинитового (50—60 %) состава с примесью смешанослойных минералов (до 10—20 %) и монтмориллонита (10—20 %, иногда до 40 %).

2. Структурный глинистый элювий каолинит-гидроослюдистого состава с примесью монтмориллонита и кремнисто-гетитовых прожилков. Количество каолинита варьирует от 10—15 до 25—40 %, гидрослюд — от 20—30 до 40—50 %. Почти постоянно присутствует монтмориллонит (5—15 %).

3. Сапролит преимущественно гидрослюдистого (40—60 %) состава с хорошо сохранившейся структурой исходных пород.

В нижних частях разреза можно отметить значительное увеличение доли гидрогетитовых и гидрогематитовых скоплений, вероятно, инфильтрационного происхождения. Весьма обильны гидрооксиды Mn. На средних горизонтах отмечаются многочисленные линзовидные обособления и пропластки кремней и опалов.

При средней мощности коры выветривания Суздальского месторождения (70 м) содержания золота по зонам примерно одинаковы, варьируя от 0.5 до 104.2 г/т. В участках локального скопления охр, особенно связанных с окислением пирит-арсенопиритовой минерализации, содержания золота в продуктах выветривания увеличиваются на порядок. В верхней части коры выветривания они сопровождаются более расплывчатыми и расширенными ореолами рассеяния по сравнению с первичными ореолами.

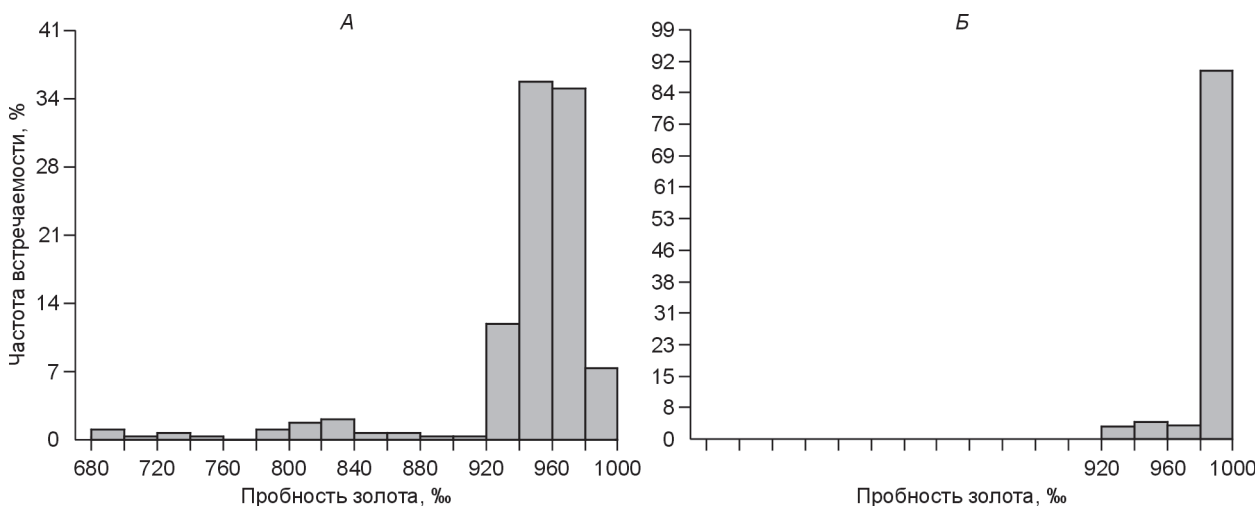
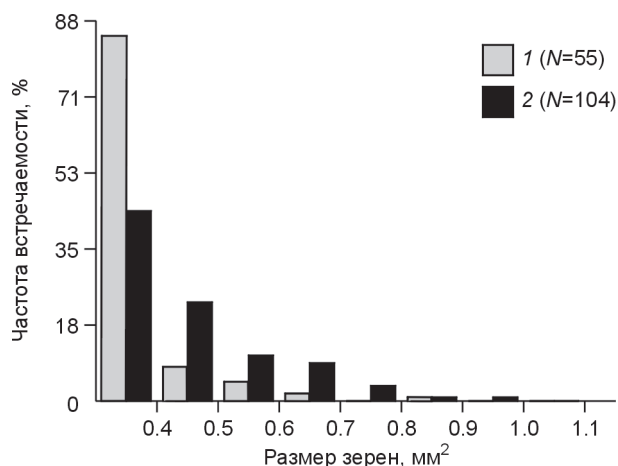


Рис. 6. Гистограмма пробности эндогенного (А) и гипергенного (Б) золота.

Характерно, что по всему разрезу фиксируется отчетливая корреляция золота с SiO_2 и As, а также устойчивая геохимическая ассоциация Au—As—Sb—W, которая отмечается и на других объектах золотоносных кор выветривания в пределах Мукурской рудной зоны [Кучукова, 1980]. В целом можно отметить общую тенденцию унаследованности гипергенными продуктами основных геохимических особенностей первичных руд и пород.

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

По технологическим и эксплуатационным оценкам до 92 % золота в коре выветривания на Суздальском месторождении находится в свободном состоянии и относится к мелкому и тонкому классам. На гистограмме (см. рис. 5) показано соотношение размерности золота по площади зерен: эндогенного (из рудного тела 2) и гипергенного (из коры выветривания). В общем, наблюдается тенденция увеличения размерности «корового» золота как по разрезу коры выветривания снизу вверх, так и относительно эндогенных руд.

Проблема соотношения гранулометрической крупности золота в исходном субстрате и в перекрывающей его коре выветривания, наряду с общей проблемой перераспределения золота в профиле выветривания, представляется одной из наиболее важных в прикладном и научном аспектах. В литературе, главным образом на примере латеритных кор выветривания, отмечается как укрупнение, так и уменьшение размеров частиц золота. Н.М. Риндзюнская с соавторами [2005] указывали на то, что в зрелых корах выветривания нередко происходит укрупнение золота. На месторождении Кангаба (Мали, Западная Африка) происходит уменьшение крупности золота вверх по разрезу коры выветривания: средний размер золотин в сапролите составляет 600 мкм; в зоне крапчатых глин снижается в среднем до 320 мкм, а в кирасе он падает до 200 мкм [Freyssinet et al., 1989]. В кирасе 90 % золотин имеют черты растворения и роста, а более 50 % частиц вообще потеряло первичную форму. Для условий влажной саванны юго-западной части Индии, наоборот, отмечается значительное увеличение среднего размера золотин, от 0.2 мм в кварцевых жилах до 0.5 мм в латеритной коре над ними, на фоне почти пятикратного обогащения в целом. При этом наблюдаются как явления растворения, так и нарастания золотин, формирование самородков с дендритовидной структурой [Nair et al., 1987]. Общее укрупнение золота в коре выветривания фиксируется и на месторождении Поссе (Центральная Бразилия) [Porto, Hale, 1995]. В некоторых случаях совмещаются обе главные тенденции изменения крупности золота (уменьшение за счет растворения и коррозии и укрупнение как хемогенный процесс), и тогда формируется своеобразное равновесное распределение золота в латеритах.

Изучение золотоносных кор выветривания каолинового профиля Салаира, Кузнецкого Алатау, Алтая, Северного Казахстана, Урала показывает, что при их формировании золото также мигрировало, укрупнялось, создавало зоны и горизонты вторичного золотого обогащения [Калинин и др., 2006]. Характер поведения золота в каолиновых профилях выветривания принципиально аналогичен латеритным, различаясь в масштабах.

Для изучения минералого-геохимических особенностей гипергенного золота особый интерес представляет рудная зона 2 Суздальского месторождения (см. рис. 2), спецификой эндогенных руд которой является преимущественное нахождение невидимого золота в игольчатом арсенопирите. В коре же выветривания над этой зоной широким развитием пользуются идиоморфные морфологические виды гипергенного золота, представленные двумя группами: кристалломорфные индивиды, друзовидные агрегаты.

Кристалломорфные индивиды пользуются наиболее широким распространением (до 46 %) и представлены изометричными, плоскопризматическими и игольчато-призматическими кристаллами. Изометричные кристаллы с преобладающей октаэдрической формой (рис. 7, А) или кристаллы, представляющие собой комбинацию куба и октаэдра (см. рис. 7, Б), имеют размеры 50—100 мкм. Обильно представлены призматические (см. рис. 7, В) и плоскопризматические кристаллы размером до 150 мкм, нередко футлярообразной формы (см. рис. 7, Г). На поверхности призматических кристаллов часто наблюдаются скульптуры линейно-ступенчатого роста (см. рис. 7, Д, Е). Отмечаются уплощенные тонкопластинчатые кристаллы Au с гексагональным или округлым поперечным сечением (см. рис. 7, Ж, З). На многих кристаллах нарастают более мелкие кристаллические формы золота поздних генераций.

Самыми распространенными (до 31 %) в коре выветривания являются экзотические игольчато-призматические кристаллы (см. рис. 7, И—М). Часто они имеют причудливую змеевидную форму с элементами расщепления в головной части кристалла. Характерны скипетровидные, булавообразные и лентовидные кристаллы, часты двойниковые сростания. Встречаются сталактитоподобные скопления игольчатых кристаллов. На некоторых из них наблюдаются нарастания октаэдрических кристаллов и тетраэдрических призм золота. Длина игольчатых кристаллов достигает 1 мм при соотношении толщины к длине 1:20. Подобная игольчатая форма кристаллов описана Р.А. Амосовым с соавторами [1986] для гипергенного самородного серебра из месторождений золото-серебряной формации.

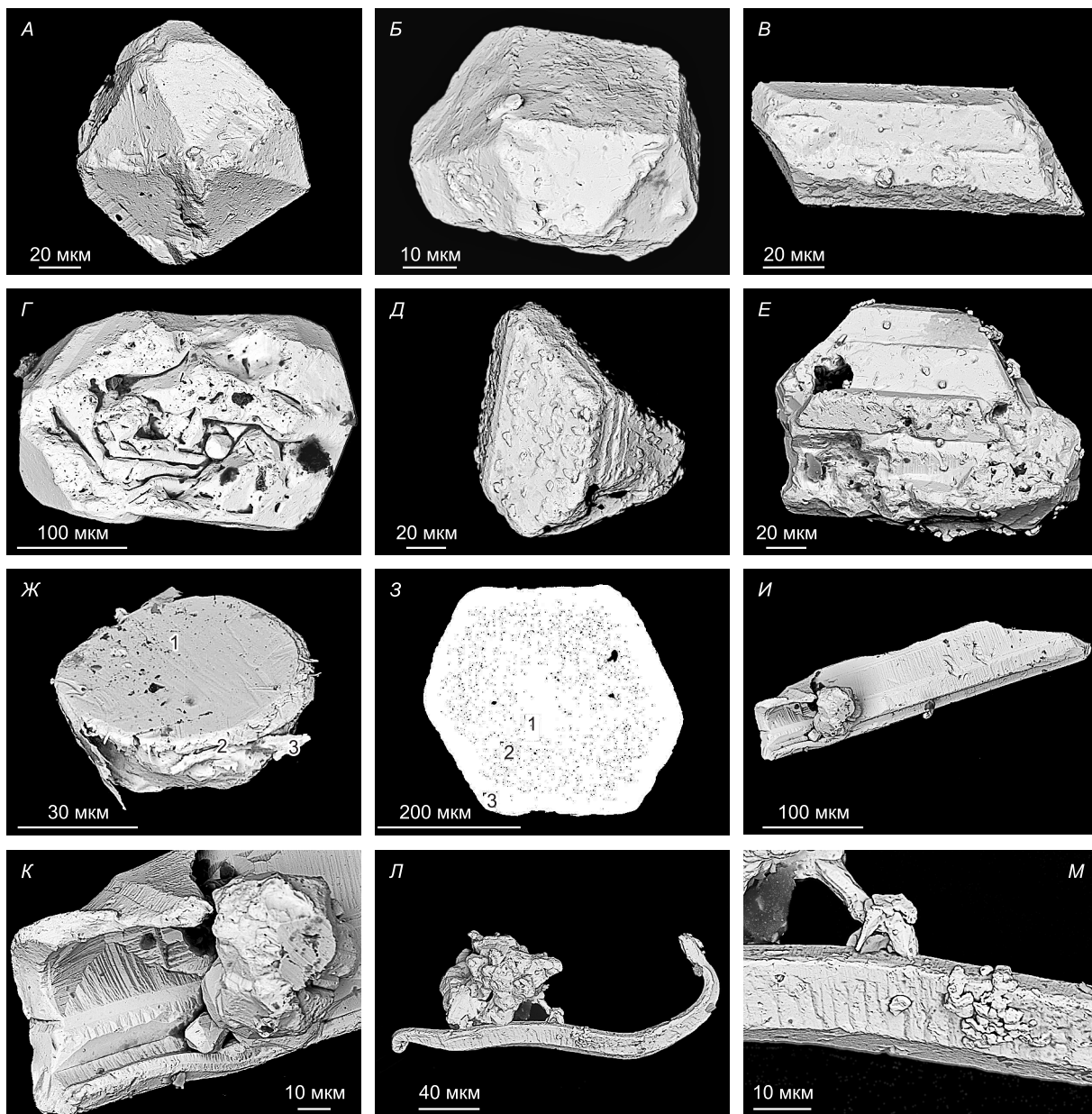


Рис. 7. Кристалломорфные индивиды гипергенного золота. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

А — изометричный кристалл золота с преобладающей октаэдрической формой; *Б* — изометричный кристалл с развитием комбинации форм куба и октаэдра; *В* — призматический кристалл золота, обрастающий кристаллами мелкого золота; *Г* — футлярообразный призматический кристалл золота с изометричным кристаллом золота поздней генерации; *Д* — призматический кристалл золота со ступенями роста и линейными зародышевыми бугорками роста на гранях; *Е* — призматический кристалл золота со ступенями роста, обрастающий мелкими кристаллами золота поздних генераций, на гранях отмечаются следы растворения сложного рисунка; *Ж* — плоский округлый кристалл с «рваными» слоями роста, 1—3 — чистое золото, по данным точечного анализа; *З* — плоский кристалл золота гексагонального облика, 1—3 — чистое золото, по данным точечного анализа; *И* — плоский удлиненно-призматический кристалл ступенчатого строения с поперечной штриховкой на гранях и нарастающим золотом поздних генераций; *К* — увеличенный фрагмент кристалла с мелким октаэдрическим кристаллом золота и золотом комковатого строения; *Л* — игольчатый призматический кристалл с элементами поперечного ступенчатого строения на гранях, обрастающий поздними генерациями золота; *М* — увеличенный фрагмент кристалла, иллюстрирующий новообразованное золото различных генераций и морфологии.

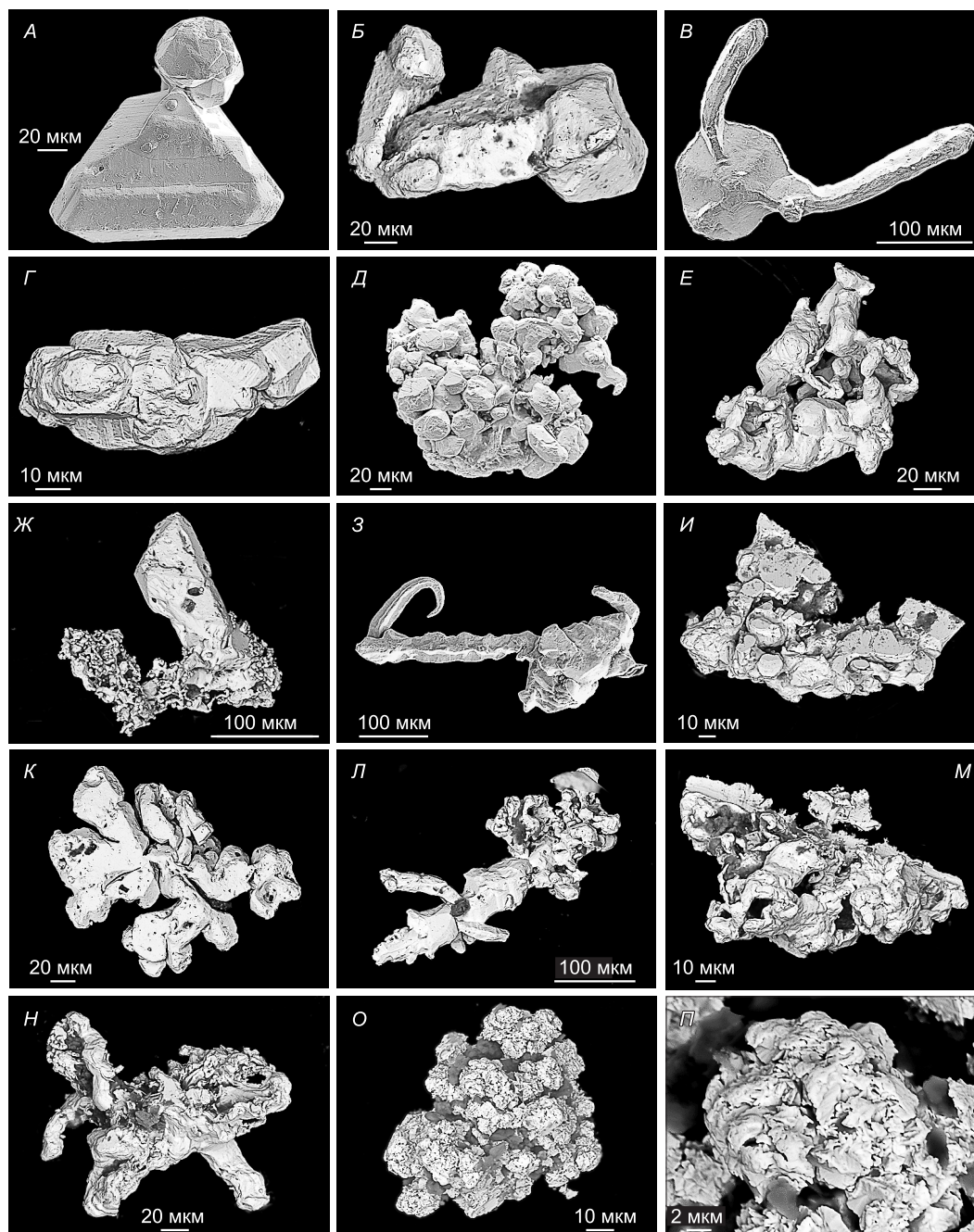


Рис. 8. Сrostки кристаллов и друзовидные агрегаты гипергенного золота. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

А — комбинация уплощенного призматического кристалла золота и изометричного округлого кристалла с признаками ступенчато-слоевого роста. На грани призматического кристалла отмечаются следы растворения и мелкие кристаллы новообразованного золота; *Б* — двойниковый сrostок призматических кристаллов золота; *В* — сrostание плоскопирамидального гексагонального кристалла золота и игольчатых кристаллов золота; *Г* — сrostание призматических кристаллов золота с элементами ступенчатого роста; *Д* — друзовидный агрегат мелких идиоморфных кристаллов золота, макроскопически имеющий губчатый облик; *Е* — друзовидный агрегат золота, представляющий сrostание идиоморфных кристаллов золота и золота неправильных форм; *Ж* — друзовидный агрегат золота, сложенный кристаллами разных гранулометрических классов, увеличенный фрагмент агрегата см. рис. 9; *З* — агрегат из игольчатых и плоских кристаллов золота; *И* — сrostок кристаллов золота с отпечатком плоскости ограниченного роста; *К* — дендритовидный сrostок плоских призматических кристаллов золота; *Л* — объемный дендритовидный агрегат золота, представленный сrostанием зерен различной морфологии; *М* — сrostок массивного золота неправильной формы и золота слоисто-пластинчатого строения; *Н* — агрегат золота натечно-скорлуповатого строения; *О* — агрегат золота гроздевидно-бутоначатого строения; *П* — увеличенный фрагмент части *О*. Отмечается чешуйчатое строение отдельного бутона.

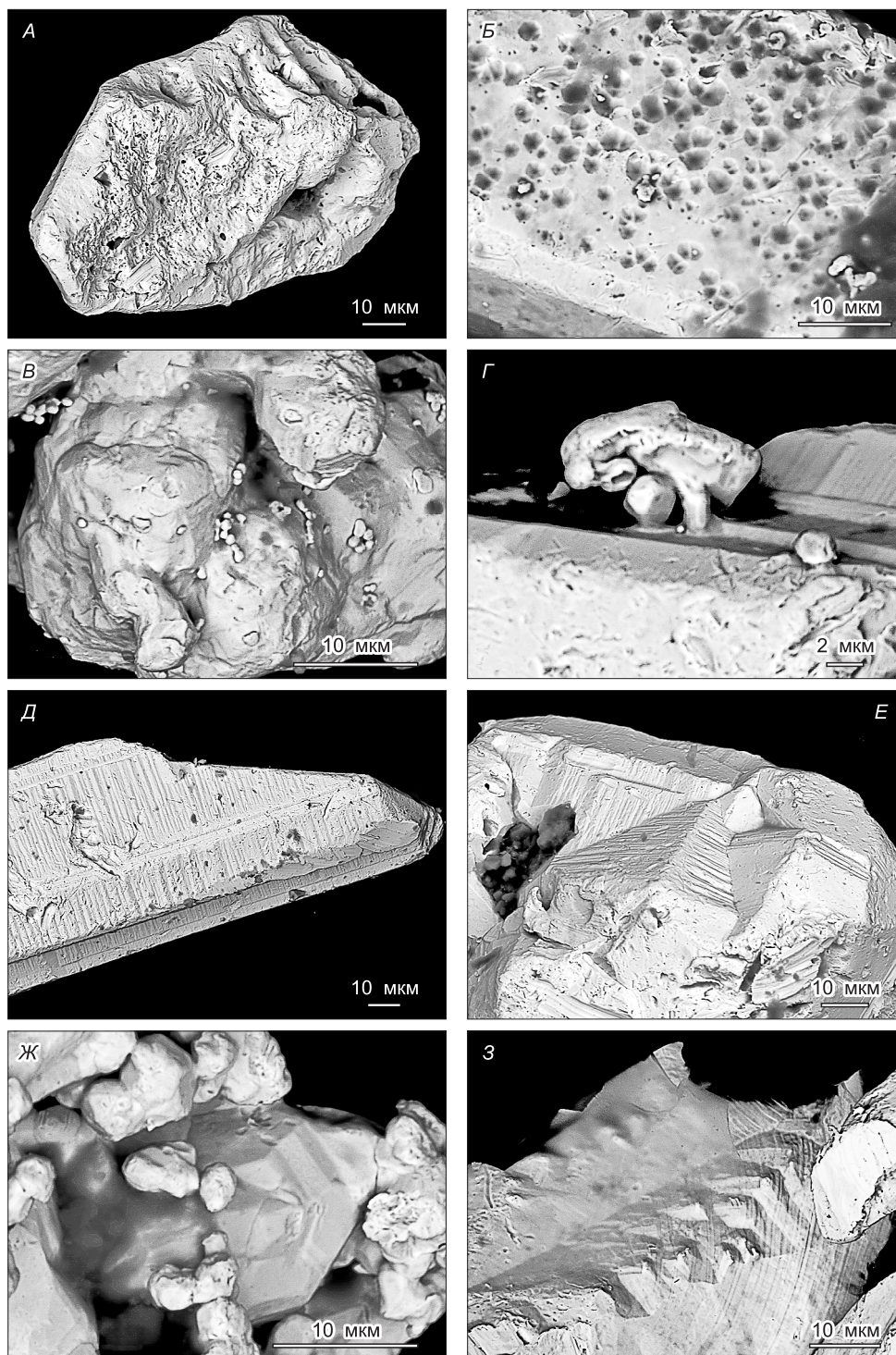


Рис. 9. Структуры растворения и роста в гиперquenном золоте. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

A — полости выщелачивания на поверхности уплощенного призматического кристалла золота ступенчатого строения; *B* — структура ямчатого растворения на поверхности игольчатого кристалла золота и новообразования мелких кристалликов золота; *B* — сросток изометричных кристаллов золота с признаками растворения на гранях и нарастание на них мелких единичных кристаллов золота и их сростков; *Г* — червячный сросток золота, обрамляющий кристалл кубооктаэдра золота, и субмикроскопическое зерно золота округлой формы размером 0,3 мкм, нарастающие на призматический кристалл золота с признаками растворения, увеличенный фрагмент кристалла, представленного на рис. 7, *Е*; *Д* — ступени роста и поперечная штриховка на грани плоского удлиненно-призматического кристалла, изображенного на рис. 7, *И*; *Е* — ступени роста кристаллов золота в друзовидном агрегате, представленном на рис. 8, *Г*; *Ж* — ступени роста в псевдогексагональном плоском кристалле золота, обрастающем изометричными кристаллами мелкого золота, увеличенный фрагмент друзовидного сростка золота, изображенного на рис. 8, *Ж*; *З* — бугорки роста на поверхности игольчато-призматического кристалла золота.

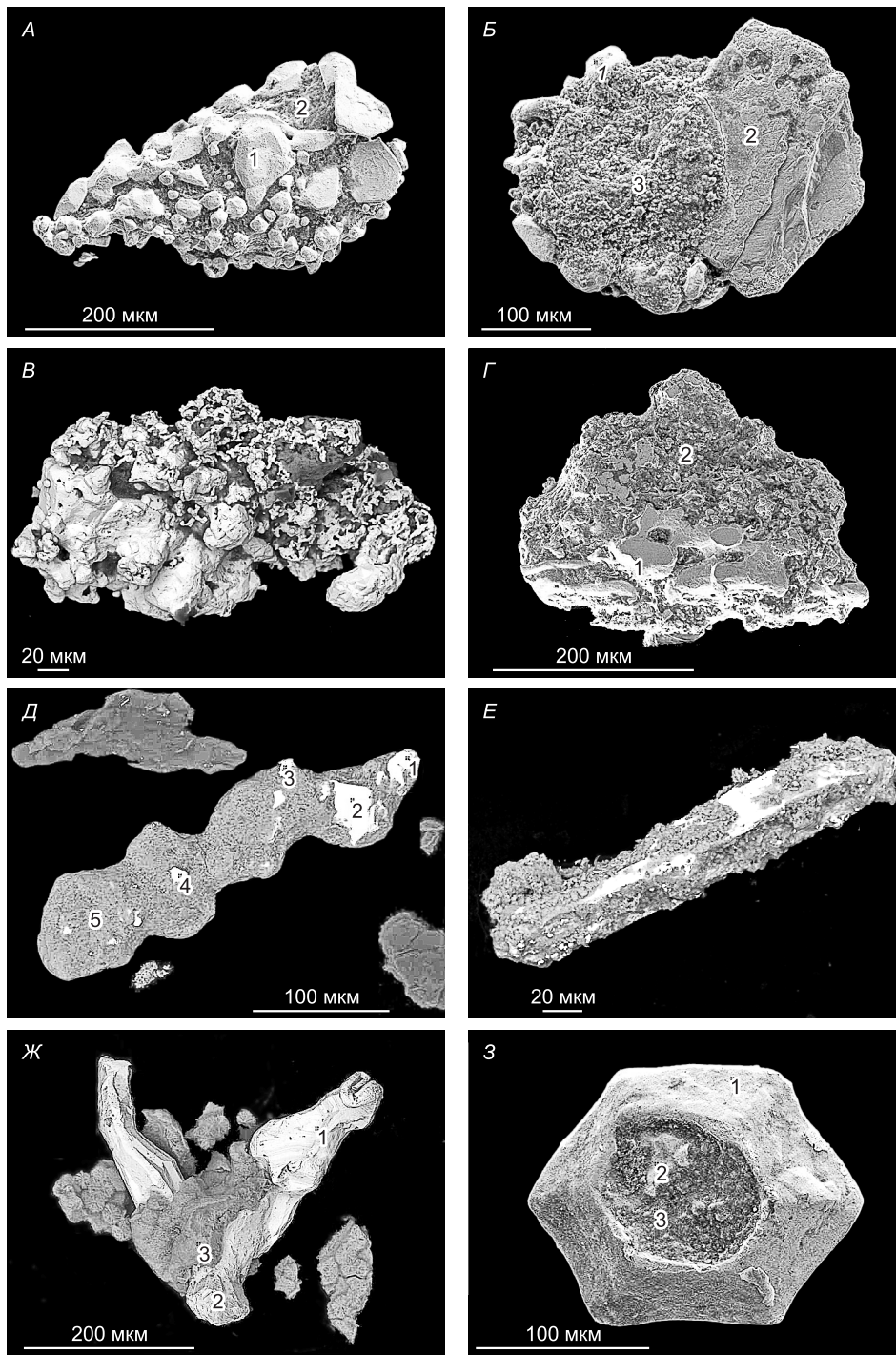


Рис. 10. Минеральные ассоциации гипергенного золота. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

А — изометричные и псевдогексагональные пластинчатые кристаллы золота (1) в никельсодержащем Fe-Mn-гидрооксидном агрегате с примесью кальцита и каолинита (2); *Б* — обрастание призматическими кристаллами золота (1) агрегата гидроксида железа с кварцем (3) в ассоциации с баритом (2); *В* — кристаллический агрегат золота, обрастающий губчатым золотом с Fe-Mn-гидрооксидами; *Г* — призматические и плоские кристаллы золота (1) в ассоциации с губчатым золотом (2) в Fe-гидрооксидно-слюдистом агрегате; *Д* — змеевидный игольчатый кристалл золота (1, 2) в титансодержащей Fe-гидрооксидно-слюдистой оболочке (5) и нарастающие на нее мелкие кристаллики позднего золота (3, 4); *Е* — игольчатый призматический кристалл золота, обрастающий Fe-гидрооксидно-слюдистым агрегатом и мелкими зернами золота; *Ж* — плоскопризматические игольчатые кристаллы золота (1, 2) в кобальтсодержащем Fe-Mn-гидрооксидно-слюдистом агрегате (3), отмечаются структуры ступенчатого роста; 3 — псевдогексагональный пирамидальный кристалл золота (1) с «кратером» растворения, покрытый пленками гидроксида железа. «Кратер» выполнен Fe-гидрооксидно-слюдистым агрегатом (3), содержащим новообразованные зерна золота (2).

Друзовидные агрегаты, доля которых достигает 23 %, по существу представляют собой срастания описанных выше изометричных, призматических, игольчатых и плоских кристаллов золота или их комбинацию (рис. 8, *А—Д*). Более сложное строение друзовидный агрегат приобретает при сочетании кристалломорфного золота различных генераций и золота неправильных форм (см. рис. 8, *Е—И*). В ряде случаев срастания кристаллического золота представлены объемными или плоскими дендритовидными образованиями (см. рис. 8, *К, Л*). Иногда встречаются чешуйчато-скорлуповатые друзовидные агрегаты золота (см. рис. 8, *М—П*). Они отличаются отсутствием признаков кристалличности, но обладают причудливым натечно-скорлуповатым или гроздевидно-бутоначатым слоистым строением. Размеры выделений гипергенного золота достигают 200 мкм.

Все отмеченные морфологические разновидности золота коры выветривания несут признаки растворения и послыбно-ступенчатого роста, подобно представленным в работах [Фекличев, 1970; Петровская, 1973; Григорьев, Жабин, 1975; Николаева, Яблокова, 2007; и др.]. На многих гранях и плоскостях отмечаются структуры растворения, часто в виде ямок травления (рис. 9, *А, Б*), нередко содержащие дисперсный материал коры выветривания. По морфологии частиц и химическому составу этот материал соответствует глинистым минералам и гидроксидам Fe и Mn.

На более крупных кристаллах (10—100 мкм), наряду со структурами растворения, обнаруживаются нарастания микрокристаллического золота размерностью до первых мкм (см. рис. 7, *Е, К, М*; 8, *А*; 9, *В, Г*). Обычно это изометричные кристаллики, характеризующиеся пентагон-додекаэдрическим габитусом или сочетанием куба и октаэдра. Характерны также неправильные червячные выделения золота в ассоциации с мелкими кристалликами поздней генерации. Как отмечалось Д.П. Григорьевым и А.Г. Жабиным [1975], появление кристаллов новой генерации обычно происходит после перерыва в отложении минерального вещества, сопровождаемого изменением физико-химических условий, вследствие чего вновь поступающее рудное вещество идет не на продолжение роста граней первой генерации, а дает начало новым кристаллам. На наличие перерыва в отложении поздней генерации гипергенного золота на месторождении указывает и нарастание тонкокристаллического золота на пленки гидроксидов железа, обрастающие крупные кристаллы золота. Весьма характерны структуры тангенциального роста, ступенчатое или слоистое строение кристаллов, развитие на гранях зародышевых структур (см. рис. 7, *Д—Ж*; 8, *А*; 9, *Д—З*). Развитие пластинчатых кристаллов и наличие плоскостей ограничения роста на кристаллах или друзовидных агрегатах (см. рис. 7, *Ж*; 8, *И*) свидетельствует о росте в стесненных условиях стратифицированной коры выветривания.

С гипергенным золотом ассоциируют кварц, барит, скородит, гидроксиды железа и марганца. Эти минералы встречаются в виде кристаллов и гнездовых скоплений или пленок и натечных агрегатов на кристаллах и друзовидных агрегатах золота (рис. 10).

Было проанализировано 262 зерна кристаллических индивидуумов различных морфологических очертаний и друзовидных агрегатов. Обобщенные результаты микронзондового анализа золота приведены на гистограмме (см. рис. 6, *Б*). Основная масса золота представлена высокопробной разностью (средняя проба 995 ‰ при вариации колебаний от 918 до 1000 ‰).

Основную и практически единственную примесь составляет серебро, ртуть выше предела обнаружения установлена в 11 % проанализированных зерен (до 0.28 мас.%), а медь (до 0.15 мас.%) — в одном проценте зерен. Важно подчеркнуть, что гипергенное золото химически однородно, высокая проба характеризует весь объем золотин, без каких-либо каемок и оторочек.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение золота первичных руд, вскрываемых в настоящее время на месторождении, позволило выявить две основные формы его нахождения — свободное и так называемое невидимое. Свободное золото встречается в сростках с сульфидами, кварцем, карбонатом и слюдисто-хлоритовым агрегатом и имеет размеры до десятков микрометров. Невидимое золото присутствует в арсенипирите и реже в пирите в виде микро- или наночастиц, возможно в химически связанном состоянии. Попадая в обстановку коры выветривания, все это золото могло служить источником для «новообразованного» золота. В литературе гипергенное золото чаще всего описывалось в виде пленок, пластинок, губчатых нарастаний на гидроксидах железа и марганца, прожилков в различных образованиях коры выветривания и в железных шляпах [Петровская, 1973; Петровская, Яблокова, 1974; Мурзин, Малюгин, 1987; и др.]. Традиционно одним из важнейших признаков гипергенного золота считается его высокая проба. Кристаллическое гипергенное высокопробное золото, отложенное из низкотемпературных водных растворов, впервые было представлено в латеритных корах выветривания Западной Австралии [Mann, 1984; Webster, Mann, 1984] и зонах вторичного обогащения на некоторых месторождениях Африки и Южной Америки [Maskau, 1944; Marquez-Zavalía et al., 2004]. Был предложен механизм формирования высокопробного золота за счет разделения хлоридов золота и серебра в условиях ферролиза.

Гипергенное золото разнообразных морфологических форм и гранулометрических классов рассматривалось В.М. Крейтером с соавторами [1958] в зоне окисления золото-сульфидных месторождений Северного Казахстана и Южного Урала. Авторами были охарактеризованы минералогические критерии выделения гипергенного золота, выявлены вариации его типоморфных особенностей по мощности профиля окисленных руд. Новое высокопробное золото, отложенное в результате ремобилизации в экзогенных процессах, описывалось М.И. Новгородовой с соавторами [1995] в корях выветривания Южного Урала. Авторами отмечалось, что процессы эти возобновлялись неоднократно в связи с сезонными колебаниями температуры и влажности, что приводило к его перераспределению и концентрированию. Кристаллы новообразованного высокопробного золота с микроструктурными элементами роста в коре выветривания описаны также Б.Л. Щербовым с соавторами [2005] на золоторудном Первомайском участке в Центральном Казахстане. Вопросы растворения, переноса и отложения нового золота в зонах окисления сульфидных месторождений, в россыпях и корях выветривания различного типа рассматривались и многими другими исследователями [Maskay, 1944; Росляков, 1983; Нестеренко и др., 1985; Nair et al., 1987; Vlassopoulos, Wood, 1990; Santosh, Omana, 1991; Vasconcelos, Kyle, 1991; Калинин и др., 2006; Савко и др., 2007].

Доказательством растворения золота в обычных атмосферных условиях является непосредственное изучение природных вод на золоторудных объектах. Б.А. Воротниковым с соавторами [1973] при изучении Южно-Енисейского золотоносного района было показано, что высокие содержания золота встречаются только в водах золоторудных месторождений. По данным этих авторов, вероятными формами миграции золота являются $[\text{Au}(\text{OH})_2]^-$ и $[\text{AuCl}_3\text{OH}]^-$. При изучении рудничных вод золотоносных участков Кокчетавской глыбы в Казахстане был сделан вывод, что в этих водах золото находится как в самородном состоянии, так и в комплексных соединениях типа $\text{Fe}[\text{AuCl}_4]$ [Кобзарь, 1977]. Установлено, что концентрации растворенного золота в водных потоках золоторудных месторождений в 40 раз превышают его фоновые концентрации [Benedetti, Boulegue, 1991]. Возможными лигандами золота являются тиосульфаты, гидрохлориды и хлориды. Явления активного перераспределения золота в поверхностных условиях подтверждаются многочисленными наблюдениями старателей и практикой повторной отработки россыпей. Утверждается, что процессы техногенеза сопровождаются формированием нового золота [Синкин, Голдырев, 1997; Наумов и др., 2003]. Представлены случаи нарастания золота на крепях, окисленных железных и других предметах после отработки золоторудных месторождений [Кренделев, 1991; Моисеенко, Палажченко, 2003]. Высказывается мнение, что при участии Fe-гидрооксидов в латеритном горизонте могут образовываться крупные самородки золота [Dermot, 2000]. Подвижность золота в зоне гипергенеза на примере изучения подземных вод Центрального золоторудного поля в Кузнецком Алатау была рассмотрена С.Л. Шварцевым и Е.М. Дутовой [2001]. Авторами было показано, что 63 % золота связывается с вторичными образованиями, а 37 % его концентрируется в водном растворе. Существует обширная литература по изучению форм золота при обычных температурах и осаждения его на геохимических барьерах. В природных водах наиболее стабильна форма $\text{AuOH}(\text{H}_2\text{O})^0$ при широком интервале Eh—pH [Vlassopoulos, Wood, 1990]. Наряду с неорганическими лигандами, важная роль в переносе золота отводится фульвокислотам [Bowell et al., 1993]. Обзор исследований мобильности золота в супергенных условиях приведен в работе [Boyle, 1979]. Таким образом, из краткого обзора следует, что золото является вполне подвижным элементом в зоне гипергенеза. Масштабы его растворения и перераспределения с последующим образованием нового золота могут быть значительными. Однако факторы, контролирующие поведение Au в природных водах, изучены еще недостаточно [Colin, Vieillard, 1990].

Процессы масштабного перераспределения золота в коре выветривания происходили и на Суздальском месторождении. На это указывают рассмотренные микрокристалломорфологические особенности золота, его состав и минеральные парагенезисы. Новообразованное золото представлено большим разнообразием кристаллических форм с широким развитием как изометричных кристаллов кубической сингонии, так и псевдогексагональных игольчатых, призматических и пластинчатых двумерных кристаллов. Кроме кристалломорфных индивидов и их агрегатов в коре выветривания широко представлены своеобразные натечно-скорлуповато-листоватые агрегаты золота, отличающиеся исключительно высокой пробностью. Наличие на гранях кристаллов гипергенного золота структур растворения и появление на них мелких кристаллов свидетельствует о неравновесном состоянии среды. На это же указывает сосуществование нескольких генераций золота разных гранулометрических классов. Кристаллы золота в 100—200 мкм ассоциируют с кристалликами размером в доли и первые десятки микрон. Более крупные кристаллы несут типичные признаки зародышевого и слоевого роста. Сочетание структур роста, растворения и присутствие тонкого субмикроскопического золота разных генераций, несомненно, указывает на нестабильные физико-химические условия коры выветривания. Значительное количество гипергенного золота было образовано, вероятно, хемогенным путем за счет разложения сульфидов в коре выветривания и освобождения невидимого золота. Некоторая часть золота переходной зоны коры выветривания представлена более низкопробным реликтовым эндогенным золотом, которое содержит вкрапления свежих сульфидов. Новообразованное золото на Суздальском месторождении тесно ассоциирует с гипергенны-

ми минералами — баритом, арсенатами, каолинитом, гидроксидами железа и марганца. Установлены случаи нарастания микронного золота на кристаллах более раннего золота, покрытого пленками оксидов железа, и нарастание друзовидных агрегатов и отдельных идиоморфных кристаллов золота на гипергенные минералы. Конкретные механизмы мобилизации эндогенного золота в корообразующие растворы и его последующего локального концентрирования могут быть многообразны. Так, на примере золотоносной коры выветривания Мурзинского месторождения (Северо-Западный Алтай) было показано [Росляков и др., 2005], что при поступлении вод, мобилизовавших золото из сульфидизированных пород, в зону действия марганцевого барьера (пирролюзит, псиломелан и другие марганецсодержащие минералы и химические формы в растворе) в них существенно возрастает активность кислорода и снимается заторможенность с процессов окисления сульфидной серы в сульфатную, что приводит к разрушению гидросульфидных комплексов золота и осаждению его основной массы в форме самородного металла.

Все это позволяет полагать, что формирование высокопробного гипергенного золота в коре выветривания происходило в условиях значительного растворения невидимого золота сульфидов, его локального перераспределения и отложения в окислительных условиях. В пользу этого свидетельствует и отмечаемая тенденция увеличения размеров зерен золота к верхним горизонтам коры выветривания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при формировании коры выветривания Суздальского месторождения на фоне значительных вариаций физико-химических условий протекали процессы растворения и переотложения золота первичных эндогенных руд с образованием разнообразных морфологических разновидностей гипергенного золота. Как правило, вертикальный интервал миграции золота в условиях очень контрастного изменения рН—Еh обстановки вниз по профилю вряд ли будет значительным. Однако непрерывное развитие зоны гипергенеза при постепенном движении вниз границ минеральных зон в соответствии с темпами денудации и скоростью наступления сверху фронта выветривания обуславливает многократное переотложение золота. В результате оно перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях, постепенно накапливаясь в определенных, небольших по мощности горизонтах. Изучение реальных природных объектов показывает, что чаще всего в коре выветривания проявляется совокупность геохимических барьеров (восстановительного, щелочного, окислительного, сорбционного и др.). Сочетание новообразованного золота и остаточного эндогенного создает наблюдаемую мозаичную картину распределения золота в современном профиле выветривания.

Авторы благодарны В.И. Полюнову и И.Ф. Кудинову за возможность проведения работ на месторождении, И.В. Бегаеву за предоставленные материалы, В.В. Колпакову, С.В. Шадриной, И.Г. Третьяковой и М.К. Колесниковой за помощь при проведении полевых исследований, А.Т. Титову и Л.Н. Поспеловой за выполнение большого объема работ на сканирующем электронном микроскопе и рентгеноспектральном микроанализаторе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 06-05-64697) и интеграционных проектов СО РАН № 96, 119.

ЛИТЕРАТУРА

Амосов Р.А., Двуреченская С.С., Чувикина Н.Г. Морфология и механизм роста кристаллов гипергенного самородного серебра в месторождении золото-серебряной формации // Минералогия зон окисления и кор выветривания месторождений благородных металлов. М., ГОСИНТИ, 1986, с. 39—48. (Тр. ЦНИГРИ, вып. 208).

Бегаев И.В., Степаненко Н.И. Золотоносные коры выветривания Северного Казахстана и Семипалатинского Прииртышья // Геология и разведка недр Казахстана, 1995, № 5, с. 29—34.

Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сяо Сючань, Чанг Э.З. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7—8), с. 8—28.

Большой Алтай (геология и металлогения). В 3 кн. / Ред. Г.Н. Щерба. Кн. 1: Геологическое строение. Алматы, Ғылым, 1998, 304 с.; Кн. 2: Металлогения. Алматы, РИО ВАК РК, 2000, 400 с.

Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Алпатов В.А., Наумов В.Б., Носик Л.П., Миронова О.Ф. Минералого-геохимические особенности и условия образования Неждановского месторождения золота (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений, 1998, т. 40, № 2, с. 137—156.

Борцов В.Д., Рафаилович М.С., Услугин М.О., Мизерная М.А., Филатов А.С., Титов Д.В., Сухорукова Е.И. Некоторые особенности онтогении золотосульфидных месторождений Западной Калбы // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Томск, Изд-во ТПУ, 2005, с. 373—382.

Буслов М.М., Ватанабе Т., Смирнова Л.В., Фудживара И., Ивата К., де Граве И., Семаков Н.Н., Травин А.В., Кирьянова А.П., Кох Д.А. Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектони-

- ке и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 49—75.
- Воротников Б.А., Николаева Н.М., Пирожков А.В.** О формах нахождения золота в водах Южно-Енисейского района // Геология и геофизика, 1973 (11), с. 37—42.
- Вуд Б.Л., Попов Н.П.** Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (3), с. 315—341.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г.** Онтогенез минералов. М., Наука, 1975, 339 с.
- Добрецов Н.Л.** Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 5—27.
- Дьячков Б.А., Черненко З.И., Кузьмина О.Н.** Предпосылки поисков нетрадиционных типов золотого оруденения в карбонатных формациях Восточного Казахстана // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Томск, Изд-во ТПУ, 2005, с. 486—489.
- Жмодик С.М., Постников А.А., Буслов М.М., Миронов А.Г.** Геодинамика Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизийного пояса в неопротерозое—раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометалльного оруденения // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 183—197.
- Зейлик Б.С.** Астролема Семейтау и ее рудоконтролирующая роль // Отечественная геология, 2001, № 6, с. 65—70.
- Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г.** Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2006, 339 с.
- Кобзарь А.П.** Поведение золота в природных водах Кокчетавской глыбы // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. Вып. 7. Алма-Ата, ОНТИ КазИМС, 1977, с. 101—105.
- Ковалев К.Р., Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Колпаков В.В., Баулина М.В.** Этапность формирования и минералого-геохимические особенности золоторудной минерализации на Суздальском месторождении в углеродисто-терригенно-карбонатных толщах Западной Калбы (Казахстан) // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2006, с. 101—102.
- Крейтер В.М., Аристов В.В., Волынский И.С., Крестовников А.Н., Кувичинский В.В.** Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1958, 268 с.
- Кренделев Ф.П.** Растет ли золото в россыпях? // Геохимические поиски рудных месторождений в таежных районах. Новосибирск, Наука, 1991, с. 92—100.
- Кучукова Л.М.** Некоторые особенности геологии, магматизма и золотого оруденения Мукурской зоны (Восточный Казахстан) // Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. Алма-Ата, Изд-во КазИМС, 1980, с. 60—63.
- Малыгин А.А., Нахтигаль Г.П., Бегаев И.В.** Золотоносность Семейтауской вулканоплутонической структуры Прииртышья // Геология и разведка недр Казахстана, 1995, № 2, с. 20—24.
- Моисеенко В.Г., Палажченко В.И.** Эксперимент длиной в век // Докл. РАН, 2003, т. 393, № 4, с. 528—531.
- Мурзин В.В., Малюгин А.А.** Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). Свердловск, УрНЦ АН СССР, 1987, 97 с.
- Нарсеев В.А.** К дискуссии о генезисе руд карлинского типа. Суздаль-тренд, Юго-Западный Алтай // Руды и металлы, 2002, № 1, с. 67—70.
- Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М., Голдырев В.В., Макеев А.Б.** Золото Верхнекамской впадины. Кудымкар, Коми-Пермяцкое книжное изд-во, 2003, 218 с.
- Нестеренко Г.В., Воротников Б.А., Николаева Н.М., Пешевицкий Б.И.** Новообразование минералов золота в зоне окисления сульфидных месторождений Казахстана // Зап. ВМО, 1985, вып. 5, ч. СХIV, с. 555—568.
- Николаева Л.А., Яблокова С.В.** Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геолого-разведочных работах // Руды и металлы, 2007, № 6, с. 41—57.
- Новгородова М.И., Генералов М.Е., Трубкин Н.В.** Новое золото в корях выветривания Южного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений, 1995, № 1, с. 40—53.
- Петровская Н.В.** Самородное золото. М., Наука, 1973, 347 с.
- Петровская Н.В., Яблокова С.В.** Золото в корях выветривания // Рудоносные коры выветривания. М., Наука, 1974, с. 173—182.
- Полянский Н.В., Добрецов Н.Л., Ермолов П.В., Кузевный В.С.** Структура и история развития Чарского офиолитового пояса // Геология и геофизика, 1979 (5), с. 66—78.
- Рафаилович М.С., Нусипов Е., Ракишев Б.М.** Золото недр Казахстана: настоящее и будущее (некоторые геологические аспекты) // Геология и разведка недр Казахстана, 1998, № 1, с. 2—9.

Риндзюнская Н.М., Андреев А.В., Зубова Т.П., Гирфанов М.М., Щегольков Ю.В., Николаева Л.А. Литолого-минералогический состав коры выветривания золоторудного месторождения Новогоднее-Манто. Полярный Урал // Руды и металлы, 2005, № 6, с. 34—44.

Росляков Н.А. Поведение золота в зоне гипергенеза золоторудных полей // Условия образования, принципы прогноза и поисков золоторудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1983, с. 124—161.

Росляков Н.А., Белеванцев В.И., Калинин Ю.А. Гипергенное золото в марганцевоносных корях выветривания // Геохимия, 2005, № 9, с. 1015—1018.

Савко А.Д., Бугельский Ю.Ю., Новиков В.М., Слукин А.Д., Шевырев Л.Т. Коры выветривания и связанные с ними полезные ископаемые. Воронеж, Истоки, 2007, 355 с.

Синкин В.А., Голдырев В.В. Формирование повышенных концентраций золота в процессе техногенеза и гипергенеза // Металлогения древних и современных океанов-97. Миасс, ИМ УрО РАН, 1997, с. 197—199.

Усыпенко О.Н., Дьячков Б.А. Закономерности формирования и оценка перспектив золотого оруденения нетрадиционного типа в карбонатных формациях Восточного Казахстана // Проблемы рудных месторождений и повышения эффективности геолого-разведочных работ. Ташкент, Изд-во ИМР, 2003, с. 119—122.

Фекличев В.Г. Микрористалломорфологические исследования. М., Наука, 1970, 167 с.

Хазов А.Ф., Петровский Д.В. Генетические особенности гипергенно-модифицированного золота в корях выветривания // Докл. РАН, 2007, т. 416, № 4, с. 533—537.

Шварцев С.Л., Дутова Е.М. Гидрогеохимия и мобилизация золота в зоне гипергенеза (Кузнецкий Алатау, Россия) // Геология рудных месторождений, 2001, т. 43, № 3, с. 252—261.

Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Жмодик С.М., Калинин Ю.А. Типоморфизм и условия образования золота в корях выветривания Первомайского участка (Центральный Казахстан) // Геология рудных месторождений, 2005, т. 47, № 2, с. 174—197.

Benedetti M., Boulegue J. Mechanism of gold transfer and deposition in a supergene environment // Geochim. Cosmochim. Acta, 1991, v. 55, № 6, p. 1539—1547.

Boyle R.W. The geochemistry of gold and its deposits // Geol. Surv. Canada, 1979, Bulletin 280, p. 584.

Bowell R.J., Gise A.P., Foster R.P. The role of fulvic acid in the supergene migration of gold in tropical rain forest // Geochim. Cosmochim. Acta, 1993, v. 57, p. 4179—4190.

Colin F., Vieillard P. Dissolution and translocation of residual gold particles under equatorial lateritic conditions // Chem. Geol., 1990, v. 84, № 1—4, p. 38—39.

Dermot H. The occurrence and origin of gold nuggets in Victoria (Australia) // J. Proc. Roy. Soc. N.S.W., Abstr., Broken Hill, 2000, v. 133, № 1—2, p. 15—16.

Freyssinet Ph., Zeegers H., Tardy Y. Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali // J. Geochem. Explor., 1989, v. 32, № 1—3, p. 17—31.

Kovalev K.R., Naumov E.A., Kalinin Yu.A., Tretjakova I.G., Borisenko A.S., Kolesnikova M.K. Types of gold mineralization at Suzdal sediment-hosted gold deposit in East Kazakhstan / Ed. C.J. Andrew Digging Deeper. Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Published and distributed by the Irish Association for Economic Geology, Dublin, 2007, p. 569—572.

Mackay R.A. The purity of native gold as a criterion in secondary enrichment // Econ. Geol., 1944, v. 39, p. 56—58.

Mann A.W. Mobility of gold and silver in laterite profiles: some observations from Western Australia // Econ. Geol., 1984, v. 79, p. 38—49.

Marquez-Zavalía M.F., Southam G., Craig J.R., Galliski M.A. Morphological and chemical study of placer gold from the San Luis Range, Argentina // Can. Miner., 2004, v. 42, p. 169—182.

Nair N.G.K., Santosh M., Mahadevan R. Lateritisation as a possible contributor to gold placers in Nilambur Valley, Southwest India // Chem. Geol., 1987, v. 60, № 1—4, p. 309—315.

Porto C.G., Hale M. Gold redistribution in the stone line lateritic profile of the Posse Deposit, central Brazil // Econ. Geol., 1995, v. 90, № 2, p. 308—321.

Santosh M., Omana P.K. Very high purity gold from lateritic weathering profiles of Nilambur, Southern India // Geology, 1991, v. 19, p. 746—749.

Vasconcelos P., Kyle J.R. Supergene geochemistry and crystal morphology of gold in a semiarid weathering environment: application to gold exploration // J. Geochem. Explor., 1991, v. 40, № 1—3, p. 115—132.

Vlassopoulos D., Wood S. Gold speciation in natural waters: 1. Solubility and hydrolysis reactions of gold in aqueous solution // Geochim. Cosmochim. Acta, 1990, v. 54, p. 3—12.

Webster J.G., Mann A.W. The influence of climate, geomorphology and primary geology on the supergene migration of gold and silver // J. Geochem. Explor., 1984, v. 22, № 1—3, p. 21—42.