

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗОЛОТА В ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЯХ

Наумов В.А., Наумова О.Б.

Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, naumov@psu.ru (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4)

Техногенные процессы приводят к изменению золотоносных фаз в отвалах золотоносных россыпей. Свободное золото в техногенных россыпях подвергается механической дифференциации. С частицами металла под влиянием физико-химических и биологических процессов происходят изменения поверхностных свойств, внутреннего строения. На уже существующих частицах образуются новые агрегаты золота (агрегация и укрупнение) или происходит их разрушение (диспергация). Изучены золотоносные фазы из техногенных россыпей Урала на электронном микроскопе Jeols-35. Установлены микропримеси на поверхности золота в виде агрегатов и пленок. Внутреннее строение золота отличается фазами различной состава, представляющими: 1) исходный металл; 2) продукты его преобразования в процессе переработки россыпей; 3) техногенные новообразования. Рассмотрена возможность направленного формирования концентраций и месторождений полезных ископаемых в техногенных отвалах.

Ключевые слова: техногенные отвалы, техногенные россыпи, техногенез, самородное золото.

CHANGING OF GOLD IN THE TECHNOGENIC PLACERS

Naumov V.A., Naumova O.B.

Institute of Natural Sciences of the Perm State University, National Research

Man-made and technogeogenical processes change the gold particles in the placers. Free gold-mining subjected to mechanical differentiation. In the metal particles under the influence of physico-chemical and biological processes occurring changes. On existing metal particles formed new units of gold. Gold-bearing phases of the placers of the Urals studied. Gold examined with an electron microscope «Jeols-35». The conversion can occur as a metal enlargement (aggregation) and the reduction in grain size (dispersion). The internal structure of gold is different phases of different composition, representing: 1) the parent metal, 2) the products of its transformation during processing placers, 3) technological growths. The possibility of the controlled formation and concentration of mineral deposits in technogenic placers examined.

Keywords: man-made placers, tailings technogenesis, native gold.

При разработке полезных ископаемых ввиду несовершенства технологий обогащения, геолого-технологических условий разработки из недр извлекается лишь небольшая часть пригодного для использования сырья. Формируются залежи продуктов горного передела – техногенные отвалы. Степень и глубина изучения техногенных образований исключительно невелики. Остаются непонятыми многие процессы преобразования вещества и полезных компонентов, образующихся при разработке россыпей, а также преобразования, протекающие в них после формирования отвалов. Сегодня эти отвалы горнорудных производств являются потенциальными месторождениями полезных ископаемых. В будущем при появлении соответствующих технологий из них могут быть извлечены полезные компоненты.

После разработки природных россыпей золота формируются техногенные россыпи (отвалы). Многие исследователи считают, что металлы в них преимущественно мелкий (0,25–0,1 мм до 30–40%, менее 0,1 мм – до 40–50%), мощность накопленных отложений

первые десятки метров. Выделяют целиковые (внутриконтурные, бортовые целики и недоработанные площади) и отвальные, среди которых выделены гравийно-галечные отложения непромышленного пласта и галечно-эфельные технологические отходы [8].

Породы отвалов и полезные компоненты при техногенезе преобразуются под влиянием поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков, под воздействием окислительно-восстановительных и других физико-химических условий среды (электрические, электромагнитные, гравитационные поля) и других факторов. На техногенных россыпях золота и платиноидов Урала нами проведены полевые исследования. Установлено, что свободное золото в техногенных россыпях подвергается механической дифференциации. В частицах металла под влиянием физико-химических и биологических процессов происходят изменения, на уже существующих частицах образуются новые агрегаты золота [1; 2]. В техногенной россыпи происходит формирование «нового» месторождения. Ведущая роль при направленном формировании техногенных россыпей принадлежит техногенным процессам. Техногенез здесь рассматривается как сжатый во времени и локализованный в пространстве гипергенез, проявляющийся в результате «реакции» поднятых из недр пород на новые условия среды, выражающийся в изменении их строения и состава, а также преобразовании полезных компонентов [3].

Физико-химическое преобразование россыпей проявляется в высвобождении частиц золота из глинистых агрегатов и сростков, переходе металла в коллоидное состояние, растворении и отложении, сорбции, замещении и др. Эти процессы приводят к высвобождению и перераспределению концентраций тонкодисперсного золота на геохимических барьерах. Закономерности этих процессов детально не изучены. Вероятно, что они протекают при положительном влиянии органики и бактерий.

Изучение золотоносных фаз из техногенных россыпей Урала показало, что увеличение концентрации и рост новообразованного золота происходит при разных условиях в течение достаточно короткого периода времени: от 1 до 5 лет. В одном из цехов шлихообогащательной установки (ШОУ) золотодобывающего прииска золото обрабатывалось кислотами в бетонном бункере. Происходило взаимодействие золотосодержащих растворов с карбонатной составляющей бетона. На карбонатном геохимическом барьере золото восстановилось до металлического. Стенки бункера интенсивно корродировались, за первый год работы при чистке бункера извлечено несколько сотен граммов золота. При дальнейшей работе ШОУ такого количества золота в бункере не наблюдалось [2].

В техногенных отвалах часто встречаются медные проволочки с диаметром от 0,5 до 2 мм. Изучены минералогические особенности этих частиц. Оказалось, что очень часто

наблюдается замещение золотом поверхности медной проволоки. Доля золота оставляет до 50% массы. Такой процесс замещения носит достаточно устойчивый массовый характер (рис. 1).

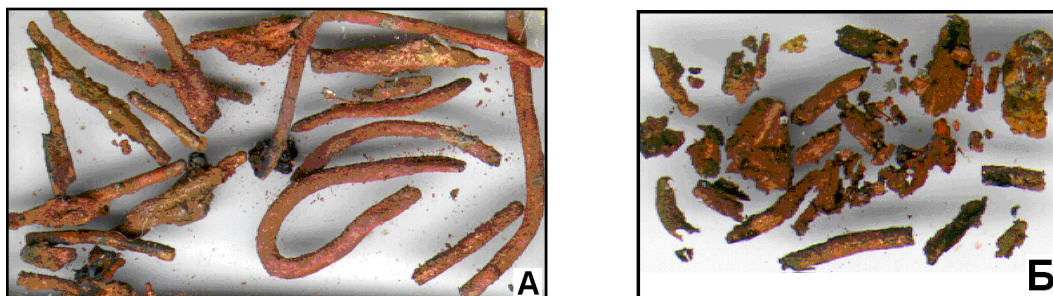


Рис. 1. «Новое» техногенное золото на поверхности медной проволоки: А – увеличение – 12 раз; Б – увеличение – 26 раз

Многими исследователями отмечена повышенная золотоносность свинцовой дроби и минералов, генетически связанных со свинцом. Содержание золота в дроби достигает 20 кг/т. Нами установлены вторичные минералы свинца в ажурной золотой матрице [2], где весовая доля золота составляет не менее 20%.

Изучение частиц золота из техногенных россыпей на электронном микроскопе Jeols-35 показало, что в процессе преобразования металла может происходить как укрупнение (агрегация), так и уменьшение размера зерен (диспергация). Главным фактором преобразования первичных фаз золота на изученных объектах Урала является преобразование амальгам, изменение содержания металлической ртути и ее соединений, образование и эволюция амальгамированных частиц золота.

При укрупнении происходит цементация золотин пленками ртутной амальгамы. В единый агрегат «спаиваются» частицы золота с разной пробностью. На поверхности зерен часто встречаются наросты и новообразования, фиксируемые под сканирующим микроскопом (рис. 2в). При этом видны участки послойных новообразований микронных размеров. Из амальгамированных зерен и агрегатов после удаления ртути высвобождаются пористые ажурные агрегаты «нового» хрупкого золота (рис. 2).

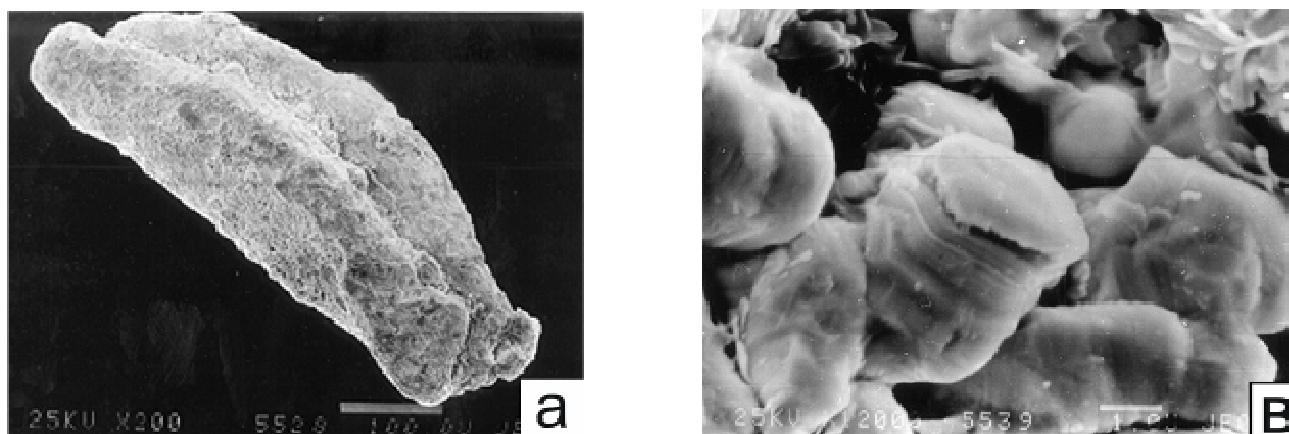


Рис. 2. Золото из техногенных отвалов р. Кытлым (Свердловская область): а – общий вид зерен, в – новообразования на поверхности золота. Увеличение (количество раз): а – 200; в – 12000

При техногенезе происходит и обратный процесс – диспергация зерен золота. На частицах золота имеются каймы из амальгамы. Низкортутистые амальгамные каймы на частицах золота с размерами зерен от более 10 до менее 1 мкм являются зернистыми. При минимальном механическом воздействии такие каймы разрушаются. Образуются пористые агрегаты золота микронного размера, отличающиеся по составу от более крупной матрицы. Наиболее сложные процессы связаны с преобразованием золото-серебряных фаз, окруженных амальгамными каймами, предположительно связанными с диффузионными и окислительными процессами. Одним из основных продуктов такого преобразования является фаза, состоящая из золота желто-бурой окраски цвета ржавчины – «ржавое золото» (рис. 3). Происходит замещение металлов и укрупнение зерен. Исследованы также каймы «ржавого золота». Изучение тонкой фракции золота размером 10–50 мкм показало, что его большая часть аналогична «ржавому золоту» кайм и «псевдоморфоз» по исходным зернам россыпного золота. Они представляют собой корочковидные, гроздьевидные агрегаты более мелких частиц, размер которых часто не превышает 1 мкм.

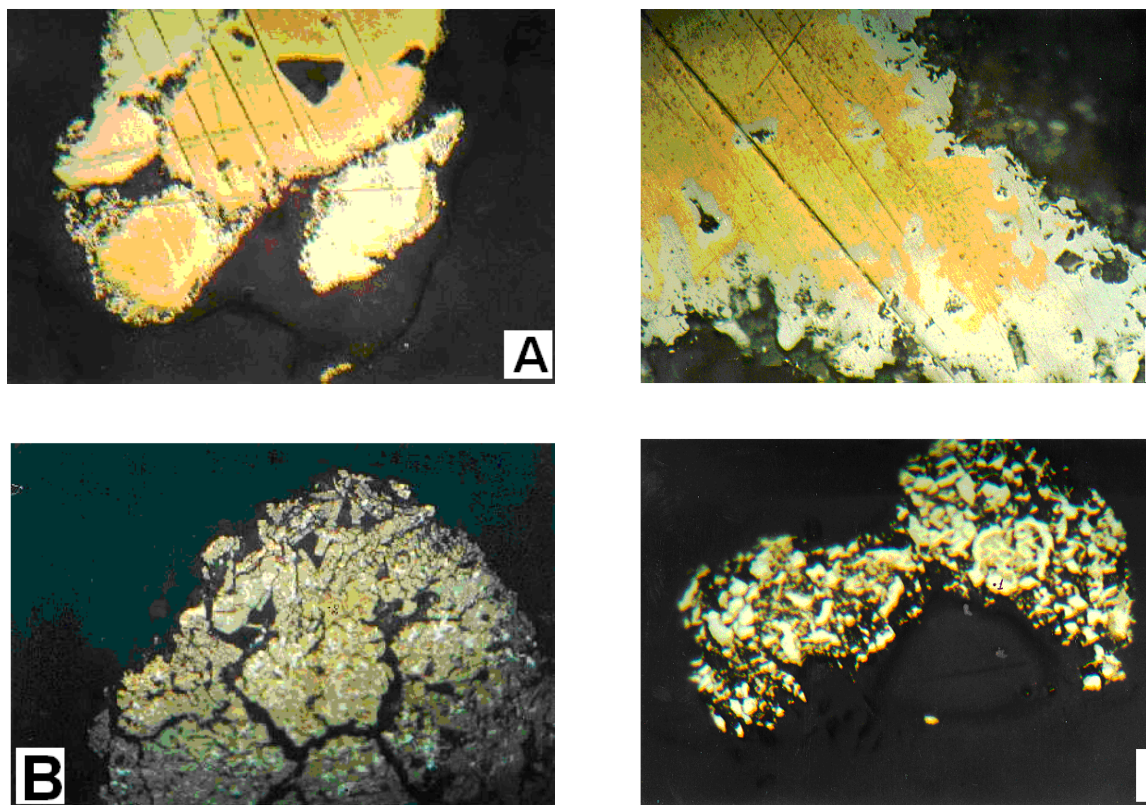


Рис. 3. Фото частиц золота из техногенных россыпей, выполненное на электронном микроскопе Jeols-35: А – Зерна золота разного состава,

сцементированные каймами амальгамы, увеличение – 200 раз, Б – кайма «свежей» амальгамы вокруг зерна золота, увеличение – 200 раз; В – агрегат «ржавого золота» с реликтами амальгам, зерно 15, увеличение – 500 раз; Г – мелкие зерна золото-серебряной фазы, сцементированные «ржавым золотом», увеличение – 200 раз

Внутреннее строение золота отличается фазами различного состава, представляющими: 1) исходный металл; 2) продукты его преобразования в процессе переработки россыпей; 3) техногенные новообразования. Очень сложно идентифицировать собственно техногенные преобразования. Порядок и механизмы изменения минеральных фаз золота практически не отличаются от таковых в природных условиях. Наиболее отчетливые изменения выявлены при поверхностных взаимодействиях первичных золотоносных фаз с ртутью, металлами, водами отвалов.

Образование корочек и налетов гидроксидов железа и марганца – явление поверхностного взаимодействия золотоносных фаз с рудными растворами, обогащенными этими элементами. Железомарганцевые фазы образуют налеты и корочки на золоте, выступают в качестве цемента, формирующего более крупные агрегаты. Такие соединения широко распространены в техногенных образованиях (песчаники, гравелиты и конгломераты), отмечены в техногенных россыпях.

При увеличениях свыше 100 тысяч раз в сканирующем электронном микроскопе хорошо различаются наноразмерные детали строения поверхностных налетов на золоте (рис. 4). В частности, характерно присутствием агрегатов, сложенных наночастицами вторичных новообразований, отдельные изолированные наночастицы, сложные комбинации разного рода построек [6; 7]. Среди разного рода вторичных новообразований различаются наночастицы, которые по многим признакам напоминают «новое» нанозолото. К сожалению, из-за малых размеров они не могут быть надежно идентифицированы микронзондовым анализом.

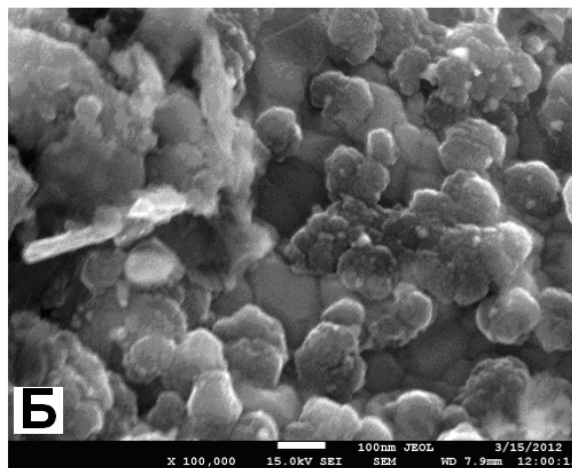
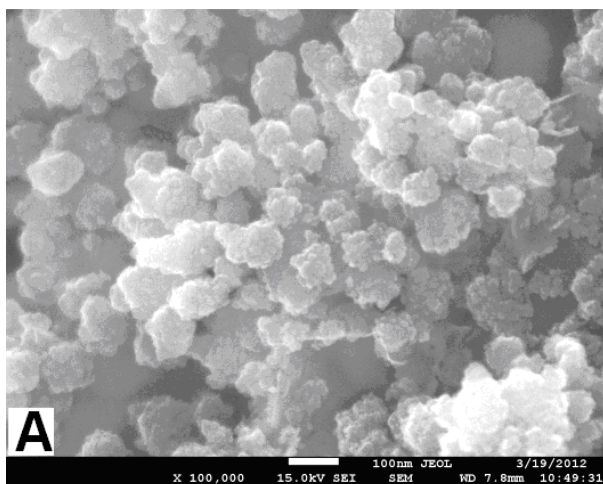


Рис. 4. А – агрегаты наночастиц вторичных минералов; Б – вторичные новообразования

на поверхности золота. Масштабная линейка – 100 нм

Состав пленок и примазок на частицах золота тех же проб установлен микронзондовым методом. Для более достоверного определения состава примазок выбирались места их скоплений. По химическому составу среди примазок могут быть выделены следующие группы: титано-железисто-кремнеземистые, железистые, марганцевые, с повышенным содержанием редких земель, оловосодержащие, кальций-фосфатные (апатитовые), с повышенным содержанием тория.

Процессами техногенного преобразования золота можно управлять [2–5]. Это создает возможность формирования новых технологий промышленного извлечения золота. Процессы техногенного преобразования важно учитывать при известных способах разработки техногенных месторождений, т.к. в процессе преобразования частиц благородных металлов изменяются их физические и технологические свойства. Возникают определенные трудности при обогащении россыпей традиционными гравитационными способами.

Техногенные преобразования золота меняют крупность металла, его среднюю плотность и относительную площадь поверхности. При новообразовании и выщелачивании частиц увеличивается их микропористость. Ажурный, губчатый характер поверхности, наличие многочисленных мелких полостей и трещин неизбежно снижают среднюю плотность зерен, а образующаяся зернистая, дендритовидная поверхность имеет значительно большую площадь по отношению к площади поверхности массивных зерен россыпного золота. В результате снижается смачиваемость зерен водой и уменьшается их гидравлическая крупность.

При естественном выделении ртути из амальгамированных частиц золота в кислой среде, какой обычно является вода техногенных отвалов, на их поверхности образуются темные пленки, корочки оксидов, гидроксидов железа и другие соединения. При шлюзовой схеме обогащения крупные тяжелые частицы с высокой гидравлической крупностью (магнетит, магнитные агрегаты, хромит, киноварь, свинцовая дробь и др.) вытесняют из концентрата пластинчатые и новообразованные зерна золота и платиноидов. Зерна с пленками гидроксидов железа приобретают магнитные свойства. Часть крупных частиц и микросамородков золота в сростках с кварцем и другими минералами имеет пониженную гидравлическую крупность. Это также снижает возможность их гравитационного обогащения.

Часть зерен золота из-за пленок оксидов и гидроксидов железа приобретает сильно- и слабомагнитные свойства, что также способствует их поступлению в отвал. Определенная

часть крупных частиц и микросамородков, находящихся в отвалах, представлена сростками с кварцем и другими минералами.

Таким образом, в современных условиях при разработке золотоносных объектов происходит **техногенный рудогенез** золота, изменение внутренней структуры, поверхностных свойств и переформирование концентраций золота. Однако рудогенез, проходящий в техногеогенных условиях, бесконтролен. Роль техногенного рудообразования пока существенным образом не показана и не осознана человеком.

Оценка параметров протекания техногеогенного рудообразования, его интенсивность, направления развития, благоприятные и негативные факторы приведут к осознанному управлению ростом концентраций золота, что может быть осуществлено в конкретных условиях геологической среды с учетом природных процессов и технических решений. В основе управления повышенными концентрациями золота заложены следующие принципы: 1) механическая дифференциация, формирование механических барьеров; 2) физико-химическая дифференциация, создание геохимических барьеров; 3) биохимическая дифференциация и создание био- и геохимических барьеров.

Рассмотренные нами процессы формирования повышенных концентраций на примере техногенных россыпей золота служат методологической базой для обоснования принципиальной возможности управления концентрациями и направленного формирования месторождений. Полагаем, что разработка рассматриваемой концепции применительно к другим типам объектов и месторождений позволит расширить перспективы и сферы развития геологической науки.

Работа выполнена при финансовой поддержке и в рамках государственного контракта 14.515.11.0061 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Генералов М.Е., Наумов В.А. Преобразование золота в техногенных россыпях и отвалах Урала // Уральский геологический журнал. – 1998. – № 4. – С. 19–56.
2. Наумов В.А. Концепция управления формированием месторождений на примере техногенных россыпей золота // Естественные и технические науки. – 2010. – № 2. – С. 262–265.
3. Наумов В.А. Особенности формирования и распределения благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. – 1994. – № 8. – С. 39–50.

4. Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б. Геологические объекты с мелким и тонким золотом – важные источники минерального сырья // Естественные и технические науки. – 2010. – № 1. – С. 174–177.
5. Наумов В.А., Наумова О.Б. О направленном формировании россыпных месторождений золота (постановка проблемы) // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения : матер. XI Межд. совещ. – Москва-Дубна, 1997. – С. 150.
6. Наумов В.А., Осовецкий Б.М. Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 3 – С. 256–273.
7. Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2012. – 232 с.
8. Шило Н.А. Учение о россыпях. - М. : Изд-во Академии горных наук, 2000. – 632 с.

Рецензенты:

Лунев Борис Степанович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Осовецкий Борис Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.