

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РУДНОГО ЗОЛОТА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

Наумов В.А.<sup>1</sup>, Наумова О.Б.<sup>1</sup>, Осовецкий Б.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Естественнаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, [naumov@psu.ru](mailto:naumov@psu.ru) (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4)

Исследования техногенных осадков проведены на ЗАО «Южуралзолото». Исследованы складированные отвалы и осадки шламохранилища после разработки рудного золота. В отвалах и осадках установлены процессы разложения неустойчивых сульфидов и переход золотоносных фаз из твердого в жидкое состояние в слабоциановом растворе. Источником золота в составе шламов являются неразложившиеся при чановом выщелачивании золотосодержащие сульфиды, свободное мелкое золото и золото в сростках, покрытое техногенными пленками, образовавшимися на поверхности частиц более крупного золота. Добыча золота из техногенных отвалов шламохранилищ может быть увеличена путем выведения золота из насыщенных растворов, усиления процессов разложения сульфидов, проектирования новых шламохранилищ. Минералого-технологическое картирование отвалов приведет к выделению отдельных блоков отвалов с различными технологическими характеристиками руд. Аналогичные процессы характерны для техногенных отвалов россыпей. Атомно-адсорбционным анализом в глинистой фракции россыпей установлены повышенные концентрации золота – от 0,5 до 1,0 г/т. Золото из глинистой фракции может быть извлечено выщелачиванием.

Ключевые слова: шламохранилища, выщелачивание золота, разложение сульфидов.

## TRANSFORMING THE LEACHING OF GOLD ORE

Naumov V.A., Naumova O.B., Osovetskiy B.M.

*Natural Sciences Institute of Perm State National Research University*

Studies conducted on the man-made rain JSC "Uzhuralzoloto". Investigated stockpiled tailings slurry pits and precipitation after the development of gold ore. In the dumps and sediments established processes of decomposition of unstable sulphides and gold-bearing phase transition from the solid to the liquid state in slabotsianovom solution. The source of the gold in the slime are undecomposed in vat leaching gold bearing sulfides free fine gold and gold intergrowths covered technological film formed on the surface of larger particles of gold. Gold extraction from industrial waste dumps slime storage can be increased by removing gold from saturated solutions, enhancing the processes of decomposition of sulphides, the design of new sludge depositories. Mineralogical and technological mapping dumps will select individual blocks dumps with different technological characteristics of ores. Similar processes are characteristic of the man-made piles of placers. Atomic absorption analysis in alluvial clay fraction set higher gold concentrations - from 0.5 to 1.0 g/t. Gold of clay fractions may be recovered by leaching.

Keywords: Slurry pits, leaching of gold, the decomposition of sulphides.

В последние десятилетия мировое развитие золотодобывающей отрасли определяют крупные золоторудные объекты. В России, где ранее до 50% золотодобычи определяли россыпи, они также заняли лидирующие позиции и обеспечивают значительное поступление финансов в бюджет. Разработка максимально эффективных способов изучения и добычи золота из таких месторождений чрезвычайно востребована и актуальна.

На объектах ЗАО «Южуралзолото» исследования провели сотрудники Естественнаучного института Пермского университета по методике, разработанной в ПГНИУ. Объектами исследований служили два типа техногенных осадков, образованных при отработке золоторудного месторождения чановым выщелачиванием первичных руд: складированные отвалы и текущие осадки, накапливающиеся в шламонакопителе. Пробы из текущих «хвостов» отобраны вблизи от устья трубы, подающей шламы в накопитель.

**Исходный вещественный состав шламов и растворов** в накопленном отстойнике (шламохранилище), динамика извлечения золота из маточных растворов свидетельствуют о протекании в них процессов разложения неустойчивых рудных минералов и переходе золотоносных фаз из твердого в жидкое (растворимое) состояние в слабоциановом растворе. Источником золота в составе шламов являются неразложившиеся при чановом выщелачивании сульфиды, свободное мелкое золото и золото в сростках. Судя по данным анализа концентрата (инф. № 336 Кочкарской ПАЛ от 26.12.96), 70% золота находится в свободном виде и в сростках. Таким образом, необходимо было выяснить соотношения состава минеральных фаз и формы нахождения в них золота, факторы изменения, динамику и кинетику его поведения в шламохранилище.

На степень извлечения золота из растворов влияют сезонные колебания температуры, насыщенность оборотных растворов. Наш опыт работы на золотоносных россыпях и рудных объектах показывает, что в кислой водной среде протекают процессы разложения сульфидов тяжелой фракции россыпей и первичных руд [1–7]. Этот процесс активизирует растворение, а затем укрупнение, агрегацию золотоносных фаз или усиливает диспергацию золота. Таким образом, в техногенных россыпях протекают два взаимосвязанных техногенных процесса: 1) диспергация и растворение частиц золота; 2) укрупнение, агрегация золотоносных фаз, покрытие частиц золотыми пленками. Это ведет к преобразованию золота в шламохранилище.

**Результаты** наших исследований (табл. 1) показывают многообразие минерального состава их легкой (табл. 2) и тяжелой фракции (табл.3), особенности распределения вещества. Значительная доля кварца и сульфидов показывают возможные направления перераспределения качественного состава осадков и изменений параметров среды в отвальных комплексах.

В текущих «хвостах» шламохранилища и отвалах установлены повышенные концентрации свободного золота. Значительная доля золота класса более 0,25 мм оказалась в свободном виде. Выявлены минералого-технологические особенности частиц такого золота. Металл был закрыт пористыми пленками оксидов и гидроксидов железа и марганца, иными пленочными минеральными образованиями. Пленки оксидов и гидроксидов металлов установлены на частицах золота размером более 0,25 мм. Они образуются в период чанового выщелачивания в результате интенсивного окисления сульфидов. Частицы золота теряют металлический блеск и внешне выглядят как обычные шлиховые минералы.

Повышение содержания кислорода в оборотных растворах шламохранилища приводит к частичному разложению пленок, высвобождению золота из-под пленок,

растворению золота и переводу его в раствор. Особенно значительное высвобождение золота происходит в период таяния снега, после зимней проморозки вещества шламохранилища.

Полученные данные минерального состава отложений и обнаружения пленок на золоте позволили нам сделать заключение о вариантах повышения извлечения золота путем интенсификации процессов разложения золотосодержащих сульфидов, высвобождения золота от пленок и перевода его в раствор, с одной стороны, создания условий для укрупнения золота на пассивных закладках, с другой стороны.

По нашим представлениям, процессы, протекающие в шламах и отвалах, имеют черты сходства установленные на изученных ранее других объектах Урала [1–7]. Анализ полученных данных позволяет сформулировать основные позиции, направленные на повышение эффективности освоения вещества шламохранилищ, извлечение из них золота и улучшение экологической ситуации.

Таблица 1

Реестр проб, отобранных на отвалах и шламохранилище  
в г. Пласт (ЗАО «Южуралзолото»)

Проба	Литологический состав	Выход тяжелой фракции, %
Отвал 1, в 0,5 км на юго-восток от шахты «Центральная»		
1	Мелкопесчано-пелитовый материал со слюдой	0,3
2	Песчано-пелитовый слюдистый материал частично с почвенно-растительным слоем	0,3
Отвал 2, в 3 км на юго-восток от шахты «Центральная»		
3	Мелкопесчано-пелитовый материал с корнями растений	0,7
Современное шламохранилище		
4	Песок мелко- и среднезернистый с видимыми зёрнами сульфидов	2,0

Таблица 2

Минеральный состав легкой фракции отвалов и шламохранилища, %

Минералы	Проба			
	1	2	3	4
Альбит	1,0	1,7	-	9,4
Биотит	-	8,2	-	11,5
Хлорит	0,5	2,0	1,9	2,0
Гетит	-	-	0,4	-
Иллит	3,6	-	21,6	-
Каолинит	0,2	0,6	-	-
Горнблендит	-	0,8	0,9	1,2
Гидрослюда	-	-	-	5,2
Микроклин	1,4	2,2	1,3	2,2

Олигоклаз	-	-	1,0	-
Кварц	93,4	84,6	72,8	68,4
Рентгеноаморфное вещество	-	-	2,2	11,7

Таблица 3

Минеральный состав тяжелой фракции отвалов и шламохранилища, %

Минералы	Проба			
	1	2	3	4
<b>Арсенопирит</b>	<b>12,8</b>	<b>26,8</b>	<b>49,0</b>	<b>22,0</b>
Барит	-	-	-	4,2
Биотит	-	1,6	2,2	3,8
Доломит	-	-	-	1,7
Горнблендит	-	-	-	7,2
<b>Пирротин</b>	-	-	-	<b>7,2</b>
Хлорит	1,7	-	0,9	-
Эпидот	38,3	45,7	-	-
Гетит	18,0	5,9	0,6	-
Гематит	-	-	28,7	-
Магнетит	-	-	1,7	-
Ильменит	2,2	-	-	-
Mg-Fe амфибол	3,7	2,6	-	-
Миллерит	-	3,5	-	-
Микроклин	2,0	-	-	-
Мусковит	4,1	-	-	-
<b>Пирит</b>	<b>2,4</b>	<b>6,7</b>	-	<b>39,4</b>
Кварц в сростках	14,8	5,6	8,8	-
Рутил	-	1,7	-	-
Тремолит	-	-	8,1	-
Кварц	-	-	-	10,6
Рентгеноаморфное вещество	23,4	36,6	21,8	33,8
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0
<b>Сумма сульфидов -</b>	<b>15,2</b>	<b>33,5</b>	<b>49,0</b>	<b>68,6</b>
Сумма других Fe-минералов	18,0	5,9	29,3	-
Сумма всех Fe-минералов	33,2	39,4	78,3	68,6

Примечание. Жирным шрифтом выделены потенциально золотосодержащие сульфиды, разложение которых способствует повышению кислотности растворов, высвобождению золота и переводу его в раствор или формированию металлических фаз на геохимических барьерах

Выявленные закономерности перераспределения золота в процессе выщелачивания его в шламохранилище, стадийный процесс преобразований, позволяют определить различные направления использования полученного результата. Разнообразие физико-химических и биохимических преобразований золота в процессе техногенеза раскрывает новые возможности управлять составом и качеством вещественных комплексов руд (Наумов, 2010), разработать эффективные пути повышения извлечения золота в раствор.

**Пути повышения золотодобычи на шламохранилищах.** Шламохранилища могут рассматриваться как крупные резервуары (чаны), предназначенные для более масштабного, чем в чанах выщелачивания, где процессы разложения золотоносных фаз растянуты во времени. Управление процессами разложения сульфидов и перевода золота в раствор или укрупнения частиц золота возможно по следующим направлениям.

**1. Обеспечение циркуляции растворов** для перемешивания и выведения золота из насыщенных растворов.

В пределах шламохранилищ существует латеральная и вертикальная зональность распределения концентраций золота, которая зависит от формы нахождения золота. Определение основных закономерностей распределения позволит интенсифицировать процесс высвобождения золота и его извлечение. После выяснения закономерностей распределения концентраций золота в отвале следует пробурить сеть скважин. Скважины могут быть использованы как для режимных наблюдений, так и для организации откачек и закачек. Могут быть опробованы приемы подземного выщелачивания.

### **2. Усиление процессов разложения сульфидов.**

Разложение золотосодержащих сульфидов в техногенных шламах способствует высвобождению золота. Основной путь разложения – окисление. Интенсификация окисления решается путем усиления взаимодействия сульфидов с кислородом. Окисление может осуществляться путем кислородного (озонового) барботажа осадков непосредственно в отвале посредством закачки воздуха через сеть скважин в отвалы; интенсификации деятельности бактерий класса *T. Ferrooxidantes*; некоторых видов растений. Целесообразно также проводить зимой кислородные продувки под слоем льда.

Другой путь – выделение гравитационного золотосульфидного концентрата и раздельное накопление сульфидных концентратов и безсульфидных хвостов. В безсульфидных хвостах останется только часть золота в сростках с кварцем, не поддающихся гравитационному разделению. Их выщелачивание можно продолжить в отвалах и проводить традиционное выделение золота (необходимость продолжения выщелачивания следует обосновать на основе баланса распределения золота в технологических типах). Не исключено, что безсульфидные хвосты по содержанию золота окажутся бесперспективными для дальнейшего выщелачивания и их можно будет вывести из цианового процесса, превратив часть из них в товарный продукт. Сульфидные концентраты после обжига или другой обработки могут быть вновь цианированы или использованы в других целях, для чего требуются специальные исследования.

**3. Ликвидация старых отвалов и шламохранилищ.** На территории г. Пласт проводилась оценка пригодности шламохранилищ в качестве строительного сырья

(Кораблев и др., 1991). После оценки вещественного состава отвалов и определения их качественного состава, гравитационный концентрат может быть использован для извлечения золота. Из песков в результате принудительной дифференциации получены средне- и мелкозернистые пески, высококачественный товарный продукт.

**4. Проектирование новых шламохранилищ.** При проектировании новых шламохранилищ учитываются закономерности распределения полезных компонентов, выявленные в имеющихся шламохранилищах. Рассчитывается сеть скважин, в основании размещаются барботажные трубопроводы, известковые и пассивные закладки. Рассматривается возможность создания отдельных сульфидных и безсульфидных шламов путем гравитационной дифференциации поступающих на шламохранилище песков.

**Реализация предложений** предполагает:

1. Изучение закономерностей **распределения вещества** в шламохранилищах. Исследование гранулометрического и минерального состава, **содержаний** и технологических **свойств золота** (формы нахождения, фазовый состав), поровых и поверхностных растворов (химический состав, водные вытяжки, содержание компонентов, pH и Eh среды, микробиологические особенности). Потребуется пробурить ряд скважин с отбором вещества и вод; оценить разные типы отвалов.

2. **Минералого-технологическое картирование** отвалов с целью выделения отдельных блоков отвалов с различными технологическими характеристиками руд и обоснования системы управления качественным составом отвальных руд. Картирование проводится путем обоснования системы опробования отвалов; разработки схемы обработки малых и технологических проб; выбора аналитических методов исследования; составления банков данных по результатам исследований. Далее последует визуализация данных минералого-технологического картирования отвалов путем создания 3D-моделей. Проведенные мероприятия приведут к организации системы управления качеством отвальных руд.

3. Результаты исследований должны быть использованы при **ликвидации и реорганизации хвостов** чанового выщелачивания на объектах Южного Урала.

Проблема преобразования рудного золота в процессе техногенеза возникает при разработке россыпей, в основании которых залегают первичные рудоносные комплексы. Преобразование первичных сульфидов, высвобождение золота и формирование россыпных концентраций может быть в пределах перемещенного материала кор выветривания. Часто повышенные концентрации золота образуются в пределах глинистого субстрата.

При разработке россыпей золота на Северном Урале нами установлено, что глинистые фракции в отстойнике и на пути транспортировки глинистой пульпы к отстойнику

обогащены сорбированным или связанным золотом. По результатам атомно-адсорбционного анализа, выполненном в Пермском университете, в глинистой фракции установлены повышенные концентрации золота – от 0,5 до 1,0 г/т. Глинистая фракция иловых отложений может рассматриваться в потенциале как порода, из которой золото может быть извлечено выщелачиванием. Проблемы и решения присущие рудным объектам могут быть реализованы и для намывных техногенных отвалов россыпей.

*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 и гранта РФФИ № 13-05-96009.*

### Список литературы

1. Генералов М.Е., Наумов В.А. Преобразования золота в техногенных россыпях и отвалах Урала // Уральский геологический журнал. Екатеринбург, 1998. – № 4. – С. 19–56.
2. 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.
3. Наумов В.А. Минерагения и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия Урала и Приуралья. Пермь: изд-во Перм. ун-та, 2011. – 162 с.
4. Наумов В.А. Процессы формирования техногенных россыпей золота // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. – Материалы XIV международного Совещания. Новосибирск, 2010. – С. 477–481.
5. 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.
6. 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.
7. Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. Пермь: изд-во Перм. ун-та, 2012. – 232 с.

### Рецензенты:

Лунев Б.С., д.г.-м.н., профессор кафедры поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г.Пермь.  
Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г.Пермь.