

Комплексный подход к извлечению золота из техногенных объектов золотодобычи Дальнего Востока России

С. И. Иванников¹, Д. Г. Эпов¹, Г. Ф. Крысенко¹, М. А. Медков¹, С. Ю. Братская¹
и А. А. Юдаков¹

Получено 20 декабря 2012 г.; опубликовано 11 января 2013 г.

Показано наличие существенных содержаний золота, достигающих 130 г/т, в техногенных отходах золотодобычи на Дальнем Востоке РФ. Проведена модификация методики нейтронно-активационного анализа, позволяющая учитывать матричный состав проб при определении содержания золота в сложных природных и техногенных объектах. Предложен способ гидрофторидного вскрытия проб, обеспечивающий повышение чувствительности нейтронно-активационного анализа за счет удаления из матрицы пробы сильно активируемых элементов. Для техногенных отходов с алюмосиликатной матрицей исследована эффективность применения аммиачно-тиосульфатного выщелачивания золота, оптимизированы составы растворов и условия выщелачивания, показано, что в зависимости от состава матрицы эффективность выщелачивания золота составляет 61–97%. Оптимизированы концентрации тиомочевины и окислителя для тиокарбамидного выщелачивания золота из техногенных отходов, показано, что эффективность метода для проб различного состава достигает 76%. Предложен метод переработки техногенных отходов золотодобычи путем фторирования гидрофторидом аммония, что в сочетании с предварительной магнитной сепарацией позволяет сконцентрировать золото в 200 раз. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Техногенные месторождения золота; аммиачно-тиосульфатное выщелачивание; тиокарбамидное выщелачивание; гидрофторид аммония; нейтронно-активационный анализ.

Ссылка: Иванников, С. И., Д. Г. Эпов, Г. Ф. Крысенко, М. А. Медков, С. Ю. Братская и А. А. Юдаков (2013), Комплексный подход к извлечению золота из техногенных объектов золотодобычи Дальнего Востока России, *Вестник ОНЗ РАН*, 5, NZ1001, doi:10.2205/2013NZ000115.

Введение

В связи с сокращением количества богатых россыпных месторождений, как в России, так и за рубежом, в последние годы неуклонно растет интерес к тонкому и сверхтонкому золоту [Беневольский и Иванов, 1999]. Особенный интерес представляют отвалы старых месторождений, где большая часть золота представлена тонкой и сверхтонкой фракциями с размерами частиц менее десятков микрон и порядка микрона соответственно,

плотно ассоциированными с минеральными компонентами различной природы [Ван-Ван-Е и др., 2009; Медков и др., 2010]. Поскольку именно несовершенство использованных ранее технологий извлечения золота привело к появлению таких своеобразных месторождений, их эффективное освоение невозможно без применения современных методов как для оценки запасов, так и для извлечения золота.

В данной работе представлены результаты исследования содержания золота в техногенных отходах золотодобычи на Дальнем Востоке РФ модифицированным нейтронно-активационным методом. На примере наиболее перспективных для переработки отходов опробованы методы извлечения золота с использованием аммиачно-тиосульфатного и карбамидного выщелачивания, а также метод концентрирования золота при фторировании проб гидрофторидом аммония.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук), Владивосток, Россия

Табл. 1. Содержание золота в техногенных месторождениях Дальнего Востока России

Источник	Тип матрицы (основные компоненты)	Содержание золота, г/т
Илы водоема отстойника экспериментальной лаборатории Амур КНИИ “Чалганы”, Амурская область	Магнетит, ильменит, гематит, металлический скраб; в небольших количествах: пирит, арсенопирит, халькопирит	75–120
Илы хвостов переработки экспериментальной лаборатории Амур КНИИ “Чалганы”, Амурская область	Магнетит, ильменит, гематит, металлический скраб; в небольших количествах: пирит, арсенопирит, халькопирит	10–20
Вскрышная порода Павловского разреза, Приморский край	Кварц, мусковит и другие алюмосиликаты, циркон	60
Илоотстойники с реки Правая Рудневка Криченского рудно-россыпного узла, Приморский край	Магнетит, гематит, ильменит, кварц	40
Техногенные отходы ШОУ на россыпи “Фадеевская”, Приморский край	Ильменит, гематит, кварц, окись олова, мусковит, ортоклаз	15–40
Отходы старой золотодобычи, хвосты и сливы действующих участков в бассейнах рек Оротукан и Кольма, Магаданская область	Алюмосиликаты, магнетит, ильменит, гематит, кварц	1,5–25
Хвосты ШОУ старательной артерии “Нагима”, Хабаровский край	Алюмосиликаты (глина)	1–13
Техногенные отходы ШОУ ОАО “Прииск Соловьевский”, Хабаровский край	Алюмосиликаты (глина)	5–130

Объекты исследования и определение содержания золота нейтронно-активационным методом

С целью оценки имеющихся запасов золота в техногенных месторождениях Дальнего Востока России был произведен пробоотбор сырья из техногенных источников Хабаровского края, Магаданской области, Приморского края, Амурской области, в том числе из отвалов старых разработок и отходов действующих золотодобывающих предприятий (Табл. 1).

Для установления содержания золота в отобранных пробах был использован метод нейтронно-активационного анализа (НАА), модифицированный нами для учета поправок на поглощение нейтронов различными сопровождающими минералами. В отличие от методов химического и пробирного анализа, часто не обеспечивающих достоверное определение золота при его нахождении в тонкодисперсном состоянии [Ханчук и др., 2009; Mitkin et al., 2000],

ядерно-физические методы анализа могут с высокой эффективностью применяться и для объектов такого типа.

За основу была взята методика НАА, аттестованная ранее для алюмосиликатных месторождений [НСАМ, 1984], однако, как показано в Табл. 1, матричный состав техногенных проб не ограничивается алюмосиликатами. В пробах с техногенных месторождений Дальнего Востока зачастую содержится большое количество (до 50%) магнетита, ильменита, гематита и других тяжелых минералов, что не позволяет использовать исходную методику НАА без дополнительных исследований. В связи с этим нами проводились исследования влияния матричного состава проб на распределение и величину нейтронных потоков внутри образцов. С помощью золотых фольг, выступающих в роли мониторов, исследовалось как влияние повышенного рассеяния нейтронов на легких элементах, например, углероде в графитовой матрице, так и увеличение поглощения нейтронов Ti и Fe в титаномагнетитовой и железосодержащей матрицах. Было показано наличие систематического занижения результатов опре-

деления золота (до 10%) с помощью НАА в титаномангнетитовой и железосодержащей матрицах за счет поглощения нейтронов. Для устранения этой погрешности рекомендовано использовать поправки на поглощение [Железнов и др., 2011].

Для повышения чувствительности НАА была разработана методика предварительного сброса матрицы с помощью фторирования пробы гидрофторидом аммония, позволяющая удалить из исследуемой пробы такие сильно активируемые элементы, как As; Na; Sb и др. без потерь определяемого металла [Железнов и др., 2012]. Это позволяет до 4 раз снизить порог обнаружения золота за счет снижения фона в наведенной гамма-активности образцов.

Как показывают и наши исследования (см. Табл. 1), и исследования других авторов [Кавчик, 2000], в различных техногенных объектах золотодобычи может содержаться существенное количество золота, что позволяет рассматривать данные объекты в качестве перспективных источников золота.

Учитывая низкую эффективность извлечения тонкого и сверхтонкого золота, составляющего значительную часть запасов данного металла в техногенных объектах гравитационными методами [Волков, 2007], были проведены исследования эффективности применения современных химических методов к переработке техногенного сырья Дальневосточного региона.

Аммиачно-тиосульфатное выщелачивание золота из техногенных объектов

Известно, что наиболее распространенный на сегодняшний день метод цианидного выщелачивания золота представляет большую опасность для окружающей среды, кроме того, он малоэффективен для извлечения золота из углеродистого и органического сырья, чувствителен к присутствию меди, цинка, никеля, сурьмы и мышьяка. Современными альтернативами цианидному выщелачиванию являются аммиачно-тиосульфатное и тиокарбамидное выщелачивание [Aylmore and Muir, 2001; Grosse et al., 2003]. Тиосульфаты щелочных металлов биоразлагаемы и практически безопасны [Bean, 1997], что позволяет применять их в геотехнологиях подземного и кучного выщелачивания, они дешевле цианидов, более эффективны в случае упорных углеродистых и медь-содержащих руд [Aylmore and Muir, 2001]. Вместе с тем, оптимизация условий тиосульфатного выщелачивания по сравнению с цианидным выщелачиванием является значительно более сложной задачей вследствие большого количества параллельных реакций окисления и диспропорционирования, протекающих с участием тиосульфатов, значительным влиянием рН и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) системы на состав образующихся комплексов [Vinh et al., 2010].

Для оптимизации состава растворов выщелачивания в модельных системах было исследовано влияние рН, концентрации тиосульфата натрия, ионов меди (II), а также

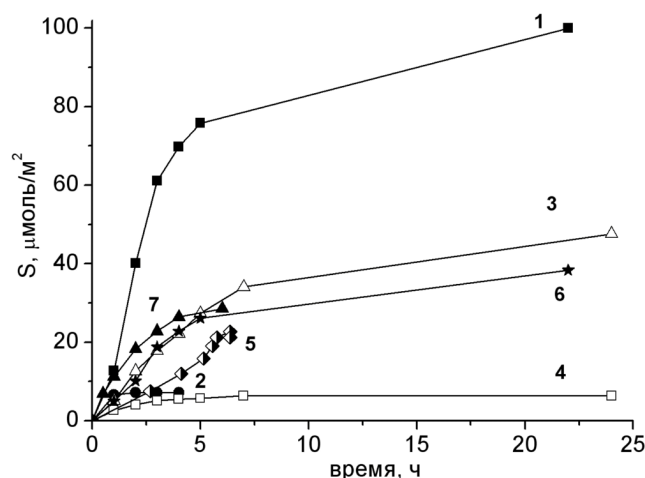


Рис. 1. Кинетика растворения (S) золота в растворах выщелачивания следующего состава: 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН=10,4 (1); 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,2 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН=10,4 (2); 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,05 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 10,4 (3); 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 9,4 (4); 0,2 М NH_3 , 0,01 М CuSO_4 , 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 10,4 (5); 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 10,4 в присутствии магнетита 0,5 мг/мл (6); 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,2 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 10,4 в присутствии магнетита 0,5 мг/мл (6).

присутствия оксидов железа на кинетику растворения золота. Путем варьирования концентрации тиосульфата в системе с содержанием 0,2 М NH_3 и 0,015 М CuSO_4 было установлено, что при отклонении от оптимальной концентрации тиосульфата (0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) наблюдается резкое снижение эффективности растворения золота (Рис. 1).

Снижение концентрации ионов меди (II) в растворе выщелачивания также приводит к снижению эффективности растворения золота (Рис. 1).

Исследования кинетики выщелачивания золота аммиачно-тиосульфатным раствором показали, что для модельных глинистых объектов эффективность выщелачивания достигает 90% за менее чем 30 минут контакта с пробой при соотношении Т:Ж равном 1 : 1 и объеме промывных вод в 2 раза превышающем объем раствора выщелачивания (Рис. 2). При использовании раствора такого же состава выщелачивание золота из реальных объектов происходит со сравнимой эффективностью, но за более продолжительное время. Результаты выщелачивания золота из источников различного состава показали (Табл. 2), что аммиачно-тиосульфатным методом можно извлекать золото с эффективностью до 97% из силикатных и алюмосиликатных матриц, тогда как степень извлечения резко снижается для объектов, содержащих оксиды железа и титана.

Различие в эффективности извлечения золота из силикатных и алюмосиликатных матриц с одной стороны и проб, содержащих оксиды титана и железа, с другой, может быть объяснено низкой доступностью частиц золота, распределенных в объеме устойчивой матрицы, при

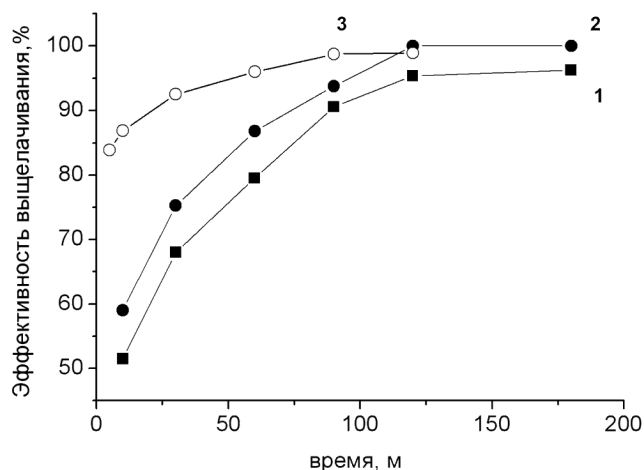


Рис. 2. Кинетика выщелачивания золота при соотношении Т : Ж 1 : 1 раствором 0,2 М NH_3 , 0,015 М CuSO_4 , 0,1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, рН= 10,4 из глинистых проб – техногенные отходы ШОУ ОАО “Прииск Соловьевский” 133 г(Au)/т (1); Хвосты ШОУ старательной артерии “Нагима” 13 г(Au)/т (2); модельная проба 29 г(Au)/т, размер частиц золота 50 нм (3).

контакте с раствором выщелачивания, и снижением стабильности аммиачно-тиосульфатной системы в присутствии оксидов переходных металлов, катализирующих окислительную деструкцию тиосульфатов и образование тетраionateв [Schoonen, 1995]. Как видно из Рис. 1, присутствие магнетита, действительно, значительно снижает скорость растворения золота, при этом негативный эффект усиливается с увеличением содержания магнетита в растворе выщелачивания. Увеличение концентрации тиосульфата в растворе выщелачивания в присутствии магнетита лишь незначительно повышает скорость растворения золота в первые два часа контакта. Таким образом, значительное содержание магнетита и титаномагнетита в матрице золотосодержащего сырья является фактором, существенно ограничивающим применение аммиачно-тиосульфатных растворов для выщелачивания золота.

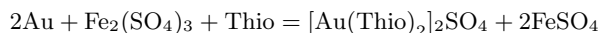
Для концентрирования золота из растворов выщелачивания (рН 9–10,5) были использованы анионообменные материалы на основе хитозана (нативный хитозан, пиридилэтилхитозан, кватернизованный пиридилэтилхитозан) и анионообменная смола АВ-17. Без регулировки рН при Т : Ж 1 : 100 наиболее высокие степени извлечения (до 95%) были достигнуты при использовании анионообменной смолы АВ-17.

Учитывая высокую эффективность выщелачивания золота аммиачно-тиосульфатным методом из силикатных и алюмосиликатных матриц, а также возможность концентрирования золота в форме тиосульфатных комплексов на коммерчески доступных анионообменных смолах, можно говорить о перспективности применения данного метода для кучного выщелачивания золота из ряда природных и техногенных сырьевых источников Дальнего Востока.

Тиокарбамидное выщелачивание золота из техногенных объектов

Еще одной альтернативой цианидам в процессах выщелачивания золота являются кислые растворы тиомочевины (тиокарбамида). Исследования, проведенные как в России, так и за рубежом, показали следующие преимущества тиомочевинного растворения по сравнению с цианированием: более высокая (\sim в 10 раз) скорость процесса, меньшая зависимость эффективности от присутствия ионов-примесей, меньший удельный расход и коррозионная активность реагентов. Применение тиомочевинного выщелачивания позволяет извлекать до 98% золота в раствор при концентрации тиомочевины около 3% [Радомская и др., 2004]. Вместе с тем, имеются и отрицательные моменты применения данного метода: тиомочевина дороже цианида натрия на 25%, разлагается в окислительных условиях, затруднено извлечение золота из тиомочевинных растворов активированным углем.

Основой тиокарбамидной технологии служит тот факт, что тиомочевина (Thio) растворяет золото в кислых растворах в присутствии окислителя с образованием комплекса катионного типа:



Тиокарбамидная технология перспективна для переработки упорных к цианированию углеродсодержащих, глинистых, а также мышьяксодержащих руд [Haas, 1988].

Исследования тиокарбамидного выщелачивания проводились на пробах, отобранных из илов водоема отстойника экспериментальной лаборатории Амур КНИИ “Чалгань”, с содержанием золота 75–120 г/т, в лабораторных условиях при навесках по 100 г с агитацией пульпы.

В лабораторных условиях были определены оптимальные условия тиокарбамидного выщелачивания: концентрация тиокарбамида 30 г/л, серной кислоты 10 г/л, соотношение фаз Т : Ж= 1 : 3. В качестве окислителя использовали раствор хлорного железа или пероксодисульфат аммония с концентрацией 2 г/л и 20 г/л соответственно. Выщелачивание проводилось 5 часов при комнатной температуре. Полученную пульпу обезвоживали, кек промывали сначала раствором выщелачивания, а затем водой при соотношении Т : Ж= 1 : 1. При таких условиях извлечение золота составило 93,5%. Было установлено, что увеличение концентрации тиокарбамида выше 30 г/л нецелесообразно, т.к. не приводит к повышению степени извлечения золота в раствор, тогда как при снижении концентрации тиокарбамида степень извлечения золота не превышает \sim 50%. Уменьшение концентрации окислителя также приводит к снижению извлечения золота в раствор выщелачивания.

Из растворов выщелачивания золото извлекали цементацией на алюминиевых пластинах при температуре 90°C. При исходном содержании золота в растворе выщелачивания 22,3 мг/л извлечение золота в цементный осадок составило 72%.

В качестве альтернативы цементации было исследовано извлечение золота из растворов выщелачива-

Табл. 2. Эффективность аммиачно-тиосульфатного выщелачивания золота из техногенных объектов

Источник	Тип матрицы (основные компоненты)	Содержание золота, г/т	Степень извлечения золота, %
Россыпь р. Колчан, (хвосты гравитации)	Кварцевые метасоматиты, андезитобазальты, базальты, андезиты, трапидоциты в разной степени каолинизированные и лимонитизированные	5,6	94–97
Россыпь р. Колчан, (хвосты гравитации)	Кварцевые метасоматиты, андезитобазальты, базальты, андезиты, трапидоциты в разной степени каолинизированные и лимонитизированные	3,3	78
Хвосты ШОУ старательной артерии “Нагима”	Алюмосиликаты (глина)	4	94–97
Техногенные отходы ШОУ на россыпи “Фадеевская”	Алюмосиликаты, титаномагнетит	15,4	< 15
Техногенные отходы золотодобычи проба Т-1 (хвосты ШОУ Амурская область)	Алюмосиликаты, сульфиды (до 9%), окислы железа (до 30%)	42	61
Техногенные отходы золотодобычи проба Т-2 (хвосты ШОУ Амурская область)	Алюмосиликаты, сульфиды (до 9%), окислы железа (до 30%)	47	61

ния электрохимическим осаждением на катодах из углеродного волокна. Золото осаждали на катоды из углеродных волокнистых материалов, токоподводом служил графитовый стержень. Основные исследования проведены на образцах активированного нетканого материала (АНМ) НПО “Неорганика” с удельной поверхностью 1200 м²/г, габаритная площадь катода составляла 10 см². Для уменьшения анодной плотности тока в качестве анодов также использовали углеродные волокнистые материалы. При плотности тока 300 А/м² эффективность извлечения золота на углеродный материал из раствора выщелачивания составила 95,17% (Рис. 3).

Гидрофторидное вскрытие золотосодержащих проб

В качестве перспективного метода переработки золотосодержащих техногенных отходов изучался метод фторирования гидрофторидом аммония (NH₄HF₂). Физико-химической основой данного метода является образование фторо- или оксофторометаллатов аммония при взаимодействии переходных и многих непереходных элементов с NH₄HF₂ [Раков, 1988]. Минералы, присутствующие в золотосодержащих техногенных отходах, при

взаимодействии с NH₄HF₂ образуют очень удобные для переработки фтораммониевые комплексы, которые в силу своих физико-химических свойств обеспечивают растворимость продуктов и возможность разделения смесей путем возгонки. Большим достоинством этих комплексов является селективная склонность к сублимации или к термической диссоциации до нелетучих фторидов, что гарантирует глубокое разделение компонентов, а ступенчатое отщепление паров NH₄F позволяет собирать десублимат последнего и использовать его по замкнутому циклу.

Побочные продукты фторирования (пары воды и аммиака) не содержат фтора, что обеспечивает экологическую безопасность производства и позволяет использовать их в конденсированном состоянии в процессах аммиачного гидролиза.

Таким образом, с учетом различий в физико-химических свойствах фторометаллатов аммония, можно подобрать условия для полного разделения профторированного гидрофторидом аммония минерального продукта на индивидуальные компоненты. Золото и другие благородные металлы с гидрофторидом аммония не взаимодействуют и в отличие от фтораммониевых солей не переходят в раствор, а собираются вместе с устойчивыми к фторированию минералами в виде нерастворимого или нелетучего остатка.

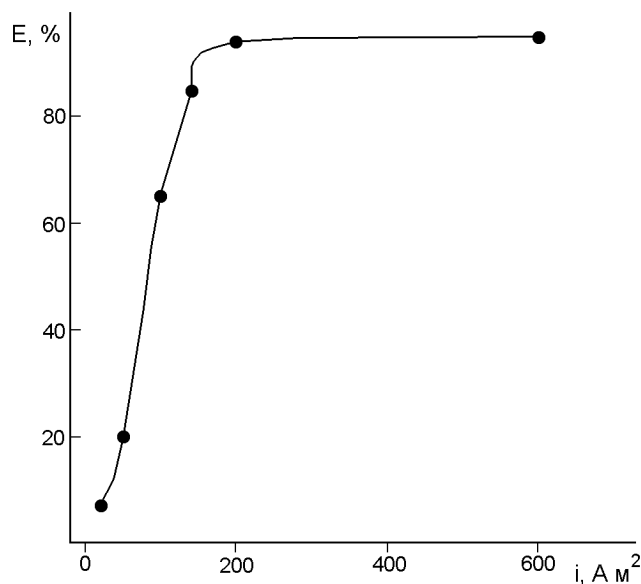


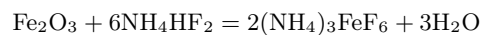
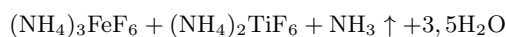
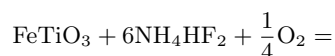
Рис. 3. Зависимость степени извлечения золота от плотности тока (0,5 моль/л ТК, 0,5 моль/л NH_4CNS , время электролиза 2 часа).

Для исследования возможности комплексной переработки техногенных золотосодержащих отходов с помощью метода вскрытия гидрофторидом аммония использовались следующие объекты: отходы обогащательной установки с россыпного месторождения в районе реки Правая Рудневка на Криченском рудно-россыпном узле; концентрат, полученный после обогащения продукта из шлейфа после ШОУ с техногенной россыпи Фадеевского месторождения; илы с отстойника экспериментальной лаборатории Амур КНИИ “Чалганы” (см. Табл. 1).

Минеральный состав проб с реки Правая Рудневка Криченского рудно-россыпного узла и ШОУ на россыпи “Фадеевская” указывал на возможность предварительного разделения пробы на магнитную и немагнитную фракции.

Магнитная сепарация исследуемых золотосодержащих отходов проводилась в слабом магнитном поле с напряженностью 600–800 Э. Выход магнитной фракции зависел от минерального состава пробы, однако анализ на содержание золота нейтронно-активационным методом показал, что при проведении такой обработки 95% золота концентрируется в немагнитной фракции.

Поскольку немагнитная фракция по данным рентгенофазового анализа была представлена ильменитом и кварцем с примесью гематита, то процесс фторирования гидрофторидом аммония основных компонентов немагнитной фракции можно представить уравнениями:



Таким образом, фторирование немагнитной фракции гидрофторидом аммония дает возможность перевести ильменит, кварц и гематит в растворимые фторометаллаты аммония и удалить их отмыванием, что способствует созданию условий для уменьшения массы остатка и соответственно повышению концентрации золота в оставшемся продукте.

Анализ на содержание золота показал, что при проведении такой обработки все золото концентрируется в нерастворимом осадке, масса которого составляет ~ 2% от исходной пробы. По данным рентгенофазового анализа нерастворимый осадок представлен оксифторидами титана и ванадия и металлическим золотом.

Применение данной схемы переработки золотосодержащих техногенных отходов (Рис. 4) для россыпного месторождения в районе реки Правая Рудневка с Криченского рудно-россыпного узла позволило собрать золото в небольших по массе нерастворимых остатках и сконцентрировать его более чем в 200 раз.

Проведенные ранее [Мельниченко, 2002] исследования показали, что разделение фтораммониевых солей титана, кремния и железа возможно при ступенчатом нагревании выпаренного фильтрата до 600°C. При этом образовавшиеся гексафторотитанат аммония и гексафторосиликат аммония можно использовать в промышленности, а при получении из фтораммониевых солей кремния и титана оксидов можно регенерировать до 90% бифторида аммония.

Применение данной схемы переработки к отходам с Фадеевского месторождения позволило сконцентрировать золото по сравнению с исходным продуктом в 30 раз. Меньшая степень концентрации объясняется тем что немагнитной фракции на первом этапе разделения оказалось ~ 80%, в отличие от Рудневки, где данной фракции было всего 20%.

В отличие от предыдущих объектов, пробы с илохранилища “Чалганы”, по данным рентгенофазового анализа, были представлены: кварцем, слюдами (мусковитом $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$ и другими содержащими кристаллизационную воду алюмосиликатами), цирконом.

Поскольку большая часть силикатов, содержащих кристаллизационную воду и ОН-группы, реагируют с NH_4HF_2 уже при шихтовании, а некоторые безводные слюдяные продукты вскрываются этим реагентом методом спекания при температуре 200–250°C [Михайлов и др., 1969], основная часть сопутствующих золоту алюмосиликатов вступает в реакцию с гидрофторидом аммония, и процесс фторирования основных компонентов исследуемых техногенных отходов гидрофторидом аммония можно представить следующими уравнениями:



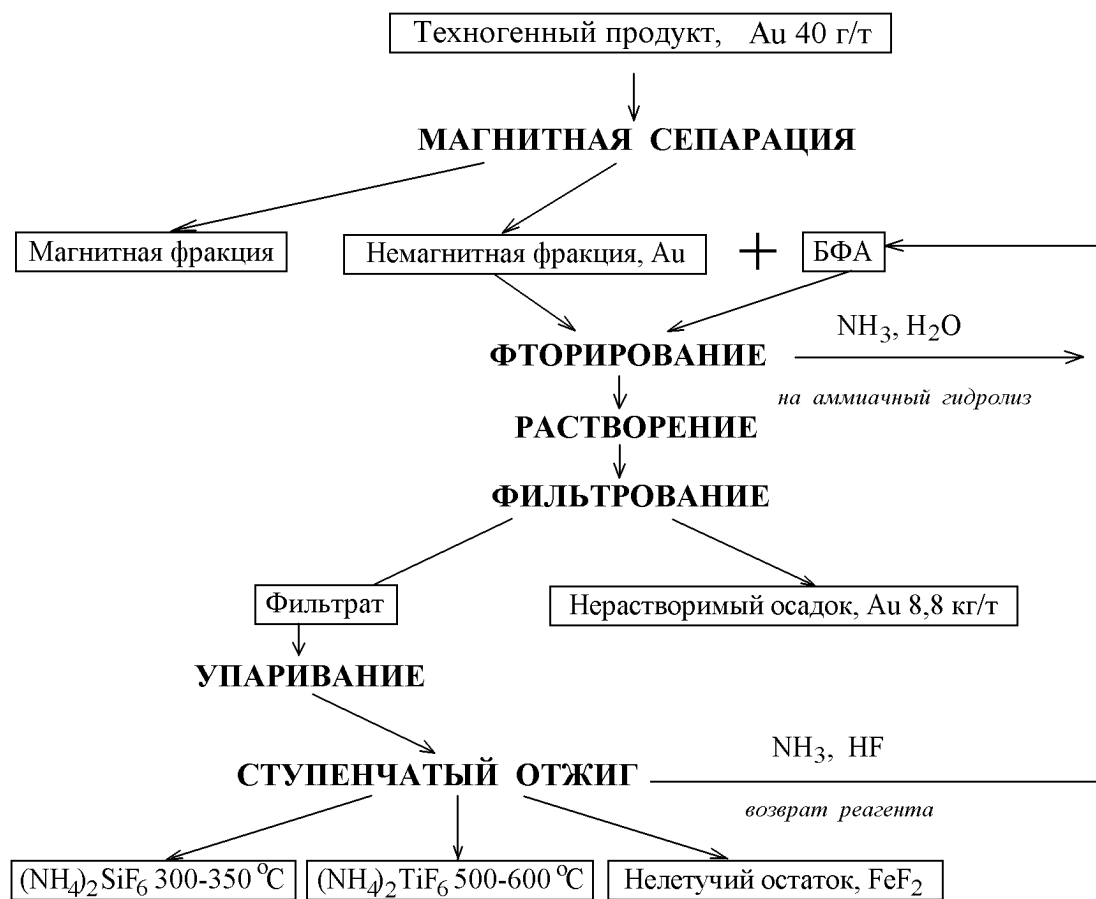
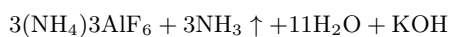


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема комплексной переработки техногенных золотосодержащих отходов с помощью гидрофторида аммония, применялась для проб с месторождений “Фадеевское” и Правая Рудневка.



Принципиально схема переработки проб с илоотстойника “Чалгань” с помощью гидрофторида аммония была аналогична схеме с Рис. 3 за исключением стадии магнитной сепарации. Результаты распределения золота на различных стадиях переработки (по данным НАА) при-

ведены в Табл. 3. Как видно из этой таблицы, золото удалось сконцентрировать в фильтрате почти в 10 раз по сравнению с исходной пробой.

Таким образом, данные эксперименты показали, что гидрофторидная переработка различных техногенных проб позволяет концентрировать золото в меньших по массе нерастворимых остатках.

Табл. 3. Результаты нейтронно-активационного анализа распределения золота на различных стадиях переработки

Продукт	Масса, г	Концентрация золота, г/т
Исходный техногенный продукт – илы хвостов переработки экспериментальной лаборатории Амур КНИИ “Чалгань”	50,0	15
Тяжелый остаток после декантации	1,5	< 5,0
Мелкодисперсное вещество из фильтрата	4,8	116
Упаренный фильтрат	52,4	< 0,3

Заключение

Выполненная работа показала, что во многих техногенных объектах, являющихся отходами золотодобычи, присутствует золото в промышленной концентрации. Данный факт при правильном подборе соответствующей экономической и экологически оправданной технологии позволит получить готовый товарный продукт. Для решения этой задачи нами были апробированы комплексные технологии, позволяющие извлекать тонкое золото из техногенных источников без использования высокотоксичных реагентов. Проведенные исследования показали, что эффективность примененных в данной работе методик выщелачивания и фторирования может в разы отличаться в зависимости от состава проб, однако каждая из этих технологий может применяться для эффективного извлечения или концентрирования золота из определенного класса объектов.

Литература

- Беневольский, Б. И., В. Н. Иванов (1999), Минерально-сырьевая база золота на рубеже XXI в., Минеральные ресурсы России, *Экономика и управление*, 1, 9–16.
- Ван-Ван-Е, А. П., В. С. Литвинцев, Г. В. Секисов (2009), Состояние и развитие ресурсного потенциала золотодобывающей отрасли ДВО, *Горный информационно-аналитический бюллетень “Дальний Восток-2”*, 32–36.
- Волков, А. В. (2007), Крупные и сверхкрупные золоторудные месторождения с “невидимым” и упорным золотом, *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, 5, 51–54.
- Железнов, В. В., В. Н. Кустов, А. А. Юдаков, С. И. Иванников, М. А. Медков (2011), Особенности нейтронно-активационного определения золота в пробах с различным минеральным составом, *Химическая технология*, 12, 10, 634–637.
- Железнов, В. В., Д. Г. Эпов, Г. Ф. Крысенко, С. И. Иванников, М. А. Медков, А. А. Юдаков, Н. А. Горячев (2012), Определение золота в присутствии мешающих примесей методом нейтронно-активационного анализа, *Химическая технология*, 13, 1, 49–53.
- Кавчик, Б. К. (2000), Два подхода к техногенным россыпям, *Золотодобыча*, 19.
- Медков, М. А., Г. Ф. Крысенко, Д. Г. Эпов, А. А. Юдаков (2010), Переработка техногенного золотосодержащего сырья, *Вестник ДВО РАН*, 5, 75–79.
- Мельниченко, Е. И. (2002), *Фторидная переработка редкометалльных руд Дальнего Востока*, Дальнаука, 268.
- Михайлов, М. А., О. Е. Преснякова, Р. С. Прицепо (1969), Выделение редких щелочных металлов из слюдястых минералов, *Редкие щелочные элементы*, В. Е. Плещев (ред.), изд-во Пермского политехнического института, 289–295.
- Научный совет по аналитическим методам (НСАМ) (1984), *Инструментальное нейтронно-активационное определение золота в пробах вулканических месторождений с использованием источника нейтронов на основе калифорния-252*.
- Радомская, В. И., О. В. Лосева, С. М. Радомский (2004), Применение тиомочевины для концентрирования золота из вторичного сырья, *Вестник ДВО РАН*, 1, 80–86.
- Раков, Э. Г. (1988), Фториды аммония, *Неорганическая химия*, 15, 154.
- Ханчук, А. И., А. А. Бердников, А. А. Черепанов (2009), Тонкодисперсное золото и платиноиды в графитовых сланцах Бурейского массива – новый тип благороднометалльного оруденения на Дальнем Востоке России, *Горный информационно-аналитический бюллетень “Дальний Восток-2”*, 9–18.
- Aylmore, M. G., D. M. Muir (2001), Thiosulfate leaching of gold, *Minerals Engineering*, 14, 135–174.
- Bean, S. L. (1997), Thiosulfates, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Kroschwitz J. I. (Ed.), Wiley, New York, 51–68.
- Grosse, A. C., G. W. Dicoski, M. J. Shaw, P. R. Haddad (2003), Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors, *Hydrometallurgy*, 69, 1–21.
- Haas, L. A. (1988), Thiourea leaching of carbonaceous gold ores, *Mining Eng.*, May, 462.
- Mitkin, V. N., A. A. Galizky, T. M. Korda (2000), Some observations on the determination of gold and the platinum-group elements in black shales, *Geostand. Newslett. J. Geostand.*, 24, 227–240.
- Schoonen, Xu Y. (1995), M.A.A. The stability of thiosulfate in the presence of pyrite in low-temperature aqueous solutions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 220, 4605–4622.
- Vinh, H. H., J. C. Lee, J. Jeong, T. H. Huynh, M. K. Jha (2010), Thiosulfate leaching of gold from waste mobile phones, *Journal of Hazardous Materials*, 178, 1115–1119.

С. Ю. Братская, С. И. Иванников, Г. Ф. Крысенко, М. А. Медков, Д. Г. Эпов, А. А. Юдаков, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИХ ДВО РАН), 690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159. (fyajkfq@mail.ru)