

УДК 622.234.42

В.В. Кармазин, С.Н. Рахимов

**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕНИЕ
В НТЦ «ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ
УСТАНОВКИ» ПО СЕГРЕГАЦИИ ЗОЛОТА
ИЗ ОТВАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ЗОЛОТОДОБЫЧИ**

Освещены проблемы извлечения мелкого и тонкого золота с помощью сегрегационно-диффузионной концентрации, способ и конструкция которой разработана и запатентована в НТЦ «Горнообогатительные модульные установки» при МГГУ.

Ключевые слова: мелкое и тонкое золото, золотодобыча, россыпи, промывочный шлюз, равнопадаемость, сегрегационно-диффузионный концентратор, перколяция

Снижение добычи золота из россыпей, наблюдаемое в настоящем времени, объясняется истощением россыпей и большим (до 50–90 %) содержанием мелкого (-25 мм) и тонкого ($-0,1$ мм) золота в россыпях. Извлечение такого рода золота традиционными технологическими схемами как то: шлюзы и шлюзотсадка, не приносят необходимого положительного экономического эффекта.

Стоимость металлургической переработки гравитационных золотосодержащих концентратов повышает высокое содержание ртути и золотосодержащих амальгам в геотехногенных месторождениях [1, 2].

Содержание свободной ртути и золотосодержащих амальгам, по оценкам специалистов, в геотехногенных ртутьсодержащих месторождениях достигает от нескольких грамм до 400 г/т. [3]

Результаты экспериментальных исследований по переработке лежальных отвалов в режимных условиях обогатительных предприятий составляет около 0,9 % [3].

Применение традиционной техники и технологий, применяемых для

переработки техногенных месторождений золота, не дают высоких положительных результатов. Это вызвало применение для переработки геотехногенных месторождений физико-химических методов, и в частности технологии кучного выщелачивания. Нужно отметить, что в этом процессе имеются потери, представленные мелкими недорастворимым золотом.

Принципиально новым техническим решением, позволяющим повысить качество и эффективность извлечения мелких и тонких классов золотосодержащего сырья, снизить затраты, а также решить вопрос экологической безопасности является метод сегрегационно-диффузионной концентрации золота из отвалов золотодобычи.

Теоретические основы процесса сегрегации впервые разработаны П.В. Лященко [4]. Известно, что в естественных условиях в отвалах золотодобычи происходит сегрегация золота за счет его просачивания сквозь слой лёгких частиц пустой породы, полученных в эффелях после обогащения на шлюзах, и в связи с эффектом равнопадаемости, оказывающимися на порядок более крупными.

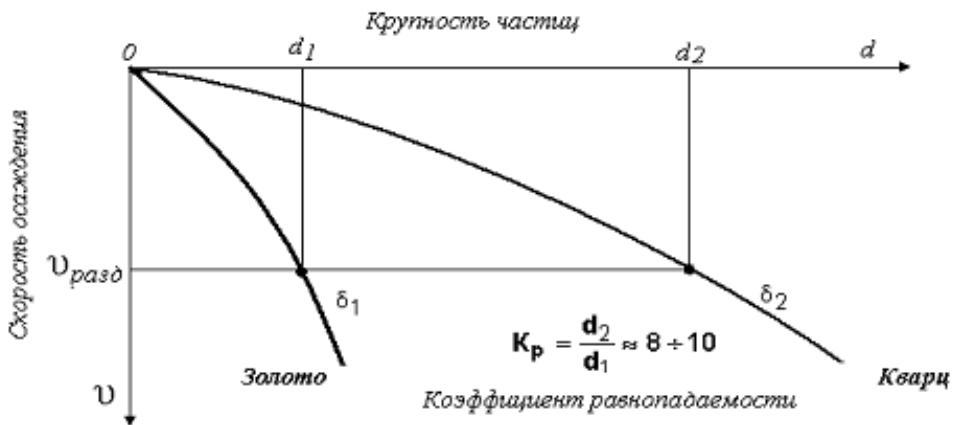


Рис. 1. Диаграмма равнопадаемости частиц золота и кварца

Диаграмма равнопадаемости частиц золота и пустой породы (кварца) представлена на рис. 1.

Коэффициент равнопадаемости (e) в одноименном явлении по П.В. Ляшенко рассчитывается по формуле (1).

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \frac{(\delta_2 - \Delta) \cdot \psi_1}{(\delta_1 - \Delta) \cdot \psi_2} \left(\frac{\theta_2}{\theta_1} \right)^n, \quad (1)$$

где d_1 , d_2 , δ_1 и δ_2 – диаметры плотности частиц и среды для смеси зёрен тяжелых (1) и лёгких (2) минералов; ψ_1 , ψ_2 , θ_1 и θ_2 – коэффициенты разрыхления для смеси зёрен тяжелых (1) и лёгких (2) минералов.

Благодаря этому соотношение диаметров золотин и частиц кварца в шлихах и эфельных хвостах остается относительно постоянным и равным 8–10 в соответствии и плотностями золота и кварца (формула 1).

В природных условиях перекопия или двухфазное просачивание, т.е. просачивание не только жидкостью, но и твёрдой фазы, происходит очень медленно: на 0,5–1 м по высоте слоя за год. Однако через несколько лет почти всё золото скапливается на скальном основании месторождения (пло-

тике), если позволяют геологические условия. Природной сегрегации по плотности минералов, которая наблюдается при любом гранулометрическом составе материала, способствуют следующие явления: движение грунтовых вод, периодические замерзания и оттаивания шламов, илов и т.п.

Если учесть, что золотины менее 30 мкм и частицы кварца менее 100 мкм неизбежно теряются в хвостах промприборов, то такой же граносостав и будет у слоя хвостов шламохранилища вблизи промприбора. Если учесть, что при кубической упаковке шаров кварца размер поровых каналов между ними составляет 0,1 их диаметра, то создаются условия прохождения золотин по этим каналам.

Нами были выполнены исследования по искусственноному ускорению этого процесса с учётом вышеприведенных обстоятельств, что и привело авторов к созданию нового метода разделения минералов.

Научно-технический центр МГГУ «Горнообогатительные модульные установки» провёл экспериментальные исследования по разработке и созданию сегрегационно-диффузационного концентратора.

В основу было положены естественные физические процессы, участвующие в формировании геотехнических россыпных месторождений золота. Геотехническое месторождение можно считать завершенным т.е. образованным, если в геотехногенных отвалах присутствует слой, обогащённый до промышленного содержания золота. Формирование слоя на геотехногенных золотосодержащих месторождениях – результат и природной сегрегации по плотности. Такого рода сегрегация проявляется при динамических изменениях параметров геотехногенного массива: циклы промерзания – оттаивания, движение влаги и т.д. в квазистатичных условиях. Для того чтобы искусственно интенсифицировать эти процессы необходимы необратимые остаточные деформации, протекание влаги и создание дисперсных систем в условно неподвижном состоянии минеральной среды.

Теоретические основы сегрегации в современном прочтении приведены в работах Блехмана И.И., Джанелидзе Г.Ю., Хайнмана В.Я. [5, 6]. Авторы рассматривали разделение сыпучих смесей под действием вибраций при наличии сил взаимодействия между разделяемыми частицами в виде сухого трения. Результатом детерминистского анализа авторов был вывод, что погружение или всплытие тел в сыпучей среде, подвергающейся вибрациям, может обуславливаться тремя следующими взаимодействующими факторами:

- отличием плотности частиц разделяемых минералов от плотности среды;
- несимметрией сил сопротивления, при которой сила сопротивления при движении частиц вверх меньше, чем при движении частиц вниз;

- несимметрией закона колебания среды.

По технологическим соображениям авторами статьи изначально отвергается модель «сухого трения» и воздействие энергоёмких внешних слоев выполняет тихоходный лопастной рыхлитель или не шнек, установленный на вертикальном валу.

Это вызывает гармонические колебания частиц по закону:

$$v = \frac{h}{t} \cos \omega t, \quad (2)$$

а само движение может быть описано уравнением:

$$\left(m' + m \right) \frac{dv_r}{dt} = m_0 \Delta g + \\ + m_0 \Delta \frac{h}{t^2} \sin \omega t + F(v_r), \quad (3)$$

где m – масса частицы; m' – присоединенная масса, возникающая при ускоренном движении частиц относительно постели; m_0 – масса постели в объеме проходящей через постель частицы; для частиц, равновеликих по объему частицам постели за m_0 следует принимать массу частиц, составляющих постель;

$$\Delta = \frac{P_m - P_n}{P_n},$$

где P_m и P_n – плотность основной частицы и постели соответственно; v_r – скорость частицы относительно постели; h – размах колебаний постели; $F(v_r)$ – сила сопротивления постели, зависящая в общем случае от относительной скорости частиц: положительная при движении частицы вниз и отрицательная – при движении вверх.

Теоретическая идеализированная модель сегрегационного разделения с учётом выше рассмотренного механизма просачивания мелких частиц

золота сквозь слой более крупных зёрен кварца на основе закона действующих масс выглядит следующим образом.

Скорость процесса зависит от количества и крупности золотин, и чем ближе их размер к размеру каналов пор, тем быстрее они «просачиваются» сквозь слой лёгких минералов в рабочем пространстве [7, 8].

Предположим, что скорость прохождения этих мелких тяжелых золотин (МТЗ) сквозь слой лёгких минералов в каждый данный момент времени будет прямо пропорциональна массе МТЗ – m , оставшихся в слое. В этом случае:

$$dm/dt = -K_c m, \quad (4)$$

где dm/dt – скорость прохождения (просачивания) тяжелых зерен сквозь слой легких, m – масса тяжелых зерен в слое, K_c – коэффициент скорости процесса сегрегационной сепарации, зависящий от соотношения плотностей и крупностей разделяемых минералов, подвижности слоя и других факторов. Знак минус показывает, что с течением времени m (масса) уменьшается.

Интегрирование уравнения (4) даёт:

$$\ln m = -K_c t + C.$$

При $t = 0$ и $m = m_0$ постоянная интегрирования C будет равна $C = \ln m_0$. Тогда $\ln m = -K_c t + \ln m_0$, где m_0 – масса зерен тяжелого минерала в начале процесса сегрегации (перколяции).

Преобразуя последнее выражение получим:

$$m = m_0 e^{-K_c t}. \quad (5)$$

Отношение m/m_0 представляет собой по определению извлечение МТЗ в слой материала. В таком случае, извлечение тяжелой фракции на дно слоя в рабочей камере равно:

$$\varepsilon = 1 - m/m_0 = 1 - e^{-K_c t}. \quad (6)$$

Экспериментальная проверка показала хорошее соответствие практических результатов с теоретическими, полученными по формуле (6), однако более точно кинетику этого процесса описывает формула Ерофеева-Колмогорова [4]:

$$\varepsilon = 1 - e^{kt^n}, \quad (7)$$

где n – коэффициент, учитывающий вязкость слоя, форму частиц, их коэффициенты трения и другие неучтенные параметры.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований авторами был сконструирован опытный образец сегрегационно-диффузационного концентратора (СДК) для доводки пром-продуктов и доизвлечения золота из хвостов обогащения золотосодержащих руд месторождения «Северо-Восток» (Чукотка). Схема СДК для доводки шлихов представлена на рис. 2.

Концентратор СДК защищён патентом РФ № 2345839 от 27.06.07.

Исследования проводились в три этапа:

- 1) технолого-минералогические исследования; 2) разработка и создание стендового лабораторного образца сегрегационно-диффузационного концентратора; 3) проведение экспериментальных исследований по изучению процессов разделения минерального сырья на экспериментальном лабораторном стендовом СДК.
- В исследуемых хвостах 78 % представлены пылевидным «плавучим» золотом; 21,96 % – мелким и тонким золотом; 0,04 % крупным и средним классами золота.

При проведении исследований на доводочном СДК вес материала (пром-продукта, хвостов) составлял 1,5 кг.

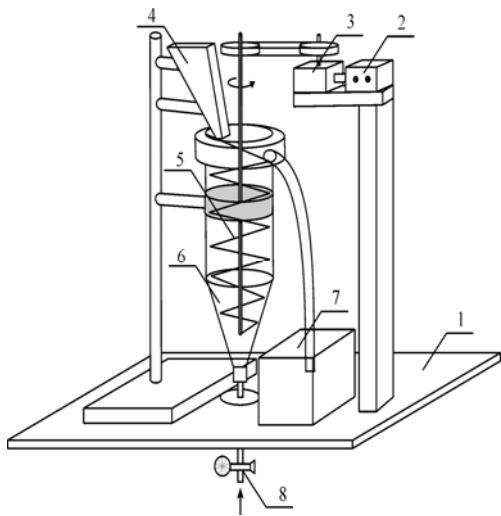


Рис. 2. Схема сегрегационно-диффузионного концентратора для доводки шлихов: 1 – платформа, 2 – электродвигатель, 3 – редуктор, 4 – загрузочная воронка, 5 – шнек с перфорацией для вывода материала выполненный в виде геликоида, 6 – рабочая камера концентратора, 7 – емкость для слива, 8 – расходомер с краном

Материал в рабочую область концентратора загружался сразу, вместо шнека использовались рыхлители, установленные на валу. После загрузки материала из конической части концентратора подавалась вода, затем посредством электропривода запускались рыхлители. Количество оборотов рыхлителей изменялось от 3 до 18 мин^{-1} . Количество подаваемой воды для создания псевдоожженного слоя от 15 до 35 л/ч на 1 кг перерабатываемого материала. Время работы концентратора составляло один час. После завершения работы концентратора вал с рыхлителями аккуратно вынимался, затем из рабочей области концентратора извлекали материал, который делили на несколько частей: концентрат (одна часть), промпродукт (две части), хвосты (одна часть). Слив обезвоживали. Затем все продукты концентратора подвергались сушке при температуре 105°C .

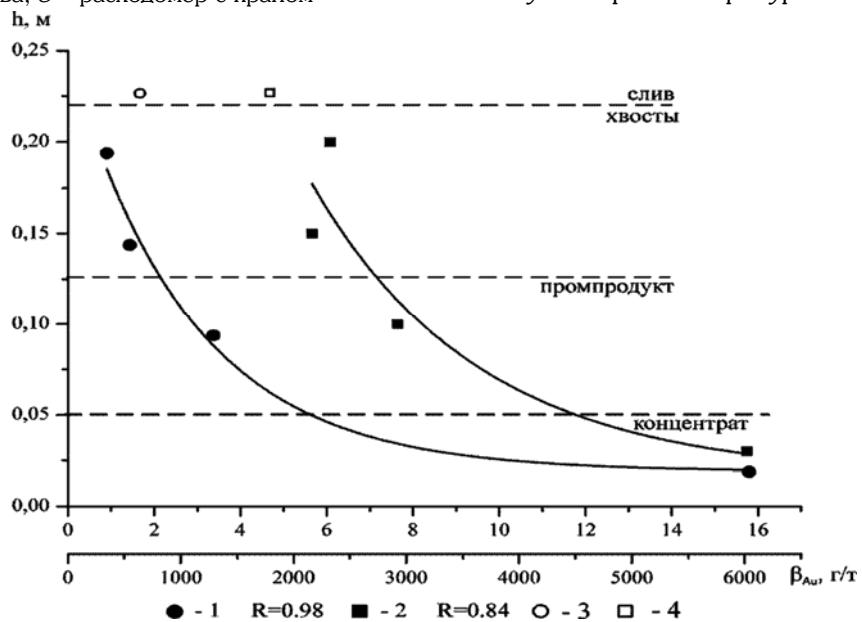


Рис. 3. Концентрация золота в продуктах сегрегационно-диффузионного концентратора при доизвлечении золота из хвостов (1) и доводке промпродукта (2) золотоизвлекательной фабрики а/с «Чукотка» месторождение «Северо-Восток»; 3, 4 – соответственно слив концентратора при переработке промпродукта и хвостов

Результаты исследований

В результате работы СДК было получено пять продуктов. Каждый продукт концентратора делили на две части: для гранулометрического и для пробирного анализов.

По результатам пробирного анализа продуктов промпродукта ЗИФ а/с «Чукотка» концентрации установлено, что извлечение золота в концентрат составило 83 % с содержанием 6039,9 г/т (рис. 3). Концентрация золота из хвостов ЗИФ составила 91,2 % с содержанием 15,74 г/т.

Полученные результаты исследований на доводочном СДК доказали эффективность сегрегационно-диффузионного метода, а полученные сепарационные характеристики работы концентратора позволили сделать вывод о высокой эффективности данного метода при разделении труднообогатимых мелких и тонких

классов золота и пустой породы. Применение СДК позволит увеличить извлечение золота и амальгамы при промывке песков и доизвлечении ценного компонента из промежуточных продуктов и хвостов золотоизвлекательных, шлихообогатительных фабрик и установок.

Таким образом, предлагаемые нами процесс сегрегационно-диффузионной концентрации, реализованный в разработанном по патенту НТЦ МГГУ концентраторе и новая комбинированная технологическая схема обогащения хвостов золотодобычи и доводки черновых концентратов позволяют расширить границы извлечения мелкого, тонкого, тонкодисперсного и коллоидного золота, а также решить проблему утилизации золотосодержащих амальгам и ртути из геотехногенных месторождений и отвалов продуктов золотодобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров В.А. Опыт переоценки эфельных отвалов техногенных россыпей и хвостохранилищ с использованием новых технологий // Материалы международной школы-семинара. Роскомдрагмет, Союз артелей старателей. АО «Иргидмет» – Иркутск: 31 июля – 5 августа. – 1995. – С.79–84.
2. Еремин Г.Г., Борисенко А.С., Васьков А.С. и др. Извлечение золота из продуктов амальгамационного передела месторождений восточного региона России. // Обогащение руд, 1998, № 2. – С. 8–14.
3. Кучное выщелачивание благородных металлов // Под редакцией М.И. Фазлулина. – М.: Издательство академии горных наук, 2001. – 647 с.
4. Ляшенко П.А. Гравитационные методы обогащения. М. –Л., 1935.
5. Блехман И.И., Хайнман В.Я. О теории вибрационного разделения сыпучих смесей. Изв. АН СССР. Механика, 1965. – №5. – с. 22–30.
6. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964.
7. Кизивальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. – М.: Недра, 1979.
8. Тихомиров В.И. Гидравлический классификатор // Советская золотопромышленность, 1932. – №2–3. – с. 30–36.
ГИАБ

Коротко об авторах

Кармазин В.В. – доктор технических наук, профессор,
Рахимов С.Н. – аспирант,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, ud@msmu.ru

