

В.М. Лизункин, А.Л. Гурулев

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХВОСТОВ ДАРАСУНСКОЙ ЗИФ В КАЧЕСТВЕ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ЗАКЛАДКИ И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

На многих горнодобывающих предприятиях, за годы их деятельности, накопилось большое количество отходов: пустых пород, убогих руд, хвостов обогащения и т.д. Хранение этих запасов на поверхности представляет опасность для окружающей среды. Предложено перспективное направление переработки техногенных месторождений, заключающееся в гранулировании текущих или лежалых хвостов обогащения с последующим выщелачиванием на поверхности (кучное выщелачивание) либо в подземных условиях. В последнем случае искусственный массив из гранул можно использовать в качестве закладки выработанного пространства.

Проведенными лабораторными исследованиями установлена техническая возможность использования гранулированных хвостов в качестве сырья для подземного и кучного выщелачивания. Установлены зависимости средней прочности гранул от их размеров и от содержания цемента. Также определены зависимости извлечения металла из гранулированной закладки от сроков выщелачивания и от степени термической обработки гранул.

Ключевые слова: гранулы, подземное выщелачивание, золото, прочность, хвосты обогащения, твердеющая закладка.

В современных условиях важнейшим направлением повышения эффективности горнодобывающих предприятий, особенно при добыче цветных, драгоценных и редких металлов, является рациональное использование минеральных ресурсов. Развитие добычи полезных ископаемых привело к образованию больших объемов отходов горно-обогательного производства. В то же время перед предприятиями встает вопрос истощения месторождений, платы за хранение и складирование отходов своего производства, с каждым годом количество которых возрастает, занимаемая огромные территории. Это ведет к исчезновению ландшафтов и загрязнению окружающей среды.

Разработка техногенных месторождений, по сравнению с природными источниками минерального сырья, отличается лучшими технико-экономическими показателями, за счет

которых можно восполнить минеральные ресурсы.

Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов, расположенных на территории России, оценивается неоднозначно. Многочисленные исследования показывают, что объекты вторичного золотосодержащего сырья разнообразны по своей природе, содержанию металла, масштабом накопления и экономической значимости.

Существующие способы переработки методами обогащения пока не нашли широкого применения из-за низкого извлечения и высоких капитальных затрат. Одним из перспективных направлений является гранулирование хвостов и последующее выщелачивание, которое может быть осуществлено либо на поверхности (кучное), либо в подземных условиях. При кучном выщелачивании приготовленные гранулы укладываются в шта-

Результаты гранулометрического анализа

Класс крупности, мм	Выход	
	в граммах	в процентах
+2	1,2	0,06
-2+1	8,8	0,44
-1+0,5	11,3	0,565
-0,5+0,2	273,8	13,69
-0,2+0,1	550,5	27,525
-0,1+0,074	421,3	21
-0,074+0,064	144,1	7,20
-0,064+0,032	322,6	16,13
-0,032+0,016	178	8,9
-0,016+0,008	33,1	1,65
-0,008	49,5	2,47

бели, орошение которых осуществляется системой гибких шлангов и разбрызгивателей. Сбор продуктивного раствора производится посредством прудков и канав. Однако выщелачивание техногенных массивов, формируемых на поверхности, подвержено влиянию атмосферных осадков и колебаний сезонных температур на состав и качество выщелачивающих и продуктивных растворов. Устранение этих недостатков достигается путем размещения окатышей в отработанных камерах рудника, куда изготовленные гранулы доставляют по вскрывающим выработкам для размещения на рабочих горизонтах. Орошение массива производится с вышележащего этажа, а сбор растворов – из выработок, расположенных на нижележащем горизонте. Полученные продуктивные растворы можно перерабатывать в условиях подземного рудника или на поверхности. После завершения процесса выщелачивания массив гранулированного материала остается в камерах в качестве закладки. При этом гранулы должны иметь определенную прочность, как закладочный материал. В тоже время их прочность не должна оказывать отрицательное влияние на проницаемость растворов.

С целью установления характера изменения прочности гранул, и выщелачивания из них металла были проведены лабораторные исследования. В качестве исходного сырья использовали хвосты флотации Дарасунской ЗИФ с гранулометрическим составом, приведенным в таблице. Для гранулометрического исследования нами была отобрана проба массой 2 кг. Классы крупности были определены с помощью ситового и дисперсионного анализов. При этом среднее содержание золота в пробе составило 1,55 г/т.

Для проведения исследований методом окомкования изготовлены гранулы диаметром 20, 25 и 30 мм с различным содержанием цемента (5, 10, 20, 30% по массе). Гранулы просушивали при комнатной температуре (20–25 °С). Часть гранул сразу же после изготовления подвергали обжигу в муфельной печи в течение 40 минут при температуре 930 °С.

Прочность гранул определяли на индикаторе механических свойств «Викинг» раздавливанием в количестве 10 штук для каждого опыта. На графике (рис. 1) представлены результаты исследований влияния срока твердения и размера гранул на их прочность.

Из графика видно, что на 5-е сутки наиболее прочными являются гранулы диаметром 20 мм, а наименее – гранулы размером 30 мм (разница между ними составляет 22%). В дальнейшем прочность гранул возрастает и на 15–16 сутки достигает 5,0 МПа у всех гранул. На 30 сутки наиболее прочными являются гранулы диаметром 30 мм, а прочность гранул диаметром 20 и 25 мм одинакова. В целом изменение прочности гранул в зависимости от срока твердения в исследуемом интервале существенно.

На графике (рис. 2) приведены результаты исследований влияния содержания цемента и размера гранул на их прочность.

Установлено, что при содержании цемента 5% наиболее прочными являются гранулы диаметром 25 мм, а наименее прочными – размером 30 мм. Разница между ними составила 60%. В дальнейшем, с увеличением содержания цемента в гранулах, отмечается закономерное увеличение их прочности. Так, например, прочность гранул с содержанием цемента 30% на 5–6% выше, чем у гранул с содержанием связующего 5%. Однако большое содержание цемента в гранулах может значительно увеличить затраты на возведение искусственного массива и сделать нерентабельной такую технологию.

На графике (рис. 3) приведены результаты исследований изменения прочности гранул в зависимости от термообработки и сроков твердения.

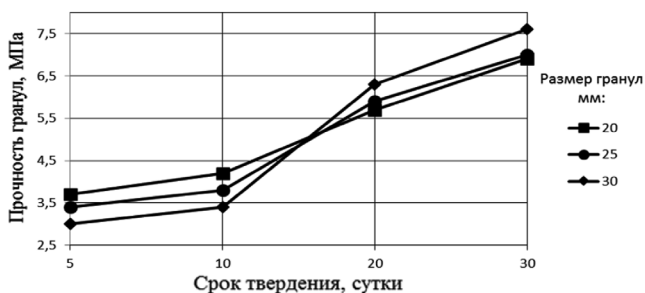


Рис. 1. Изменение средней прочности гранул в зависимости от срока твердения и размера гранул (содержание цемента в гранулах 10%)

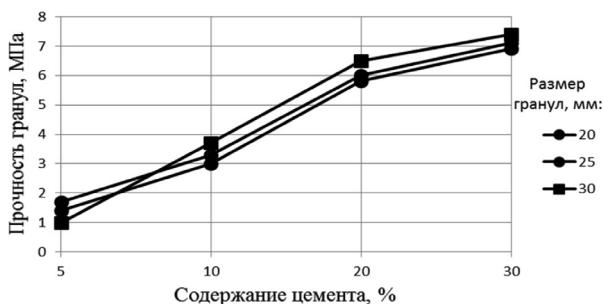


Рис. 2. Изменение средней прочности гранул в зависимости от содержания цемента и размера гранул при сроке твердения 10 суток

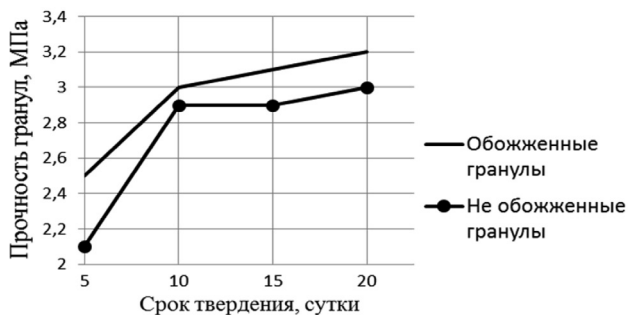


Рис. 3. Изменение средней прочности гранул в зависимости от термообработки и сроков твердения при содержании цемента в гранулах 10%

Из графика видно, что гранулы, подвергшиеся термической обработке, обладают более высокой прочностью, чем не обожженные. Это объясняется большей скоростью испарения влаги при воздействии высоких температур.

Для обоснования возможности применения физико-химической гео-

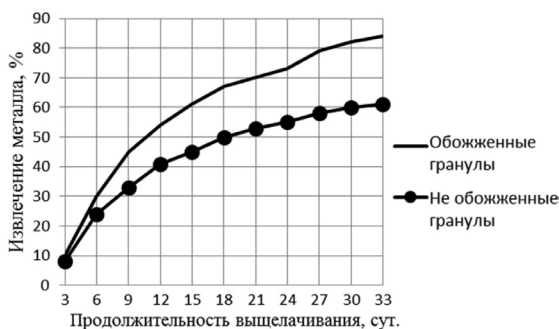


Рис. 4. Изменение извлечения металла от продолжительности выщелачивания и степени термообработки гранулированных хвостов с содержанием цемента 30%

технологии, определения ее параметров и режимов необходимо проведение комплексных исследований процессов фильтрации растворителя, фазовых переходов элементов из минерального вещества в раствор и извлечения ценных компонентов из продуктивных растворов.

Следующий этап исследований заключался в проведении выщелачивания металла из гранул, изготовленных описанным выше способом с теми же характеристиками. Выщелачивание осуществляли в перколяторах высотой 800 мм и диаметром 90 мм. Испытывались технологические пробы из гранул массой 4 кг каждая. При этом обеспечивали необходимую насыпную плотность материала посредством встряхивания и уплотнения. В качестве реагента использовали 10% раствор серной кислоты. Так как содержание золота в пробах было незначительно, то при изготовлении гранул в хвосты добавляли медную крошку.

Выщелачивание металла из гранулированных хвостов руд осуществляли в две стадии. На первой стадии производили закисление материала раствором серной кислоты с рН рабочих растворов 2,0–2,2. Повышенную кислотность (30–35 г/дм³) поддерживали в первые 7–10 суток до достижения рН рабочих растворов 2,5–3,0.

Затем ее постепенно снижали до 15 г/дм³.

По завершению процесса закисления гранулированные хвосты переводились в стадию активного выщелачивания. При этом концентрацию серной кислоты в растворах орошения снижали до 1–3 г/дм³. Величина рН продуктивных растворов поддерживали в пределах 1,8–2,0 путем регулирования кислотности рабочих растворов. Расход

растворов поддерживали на уровне 1800 мл/час [4–10].

Опыты проводились при комнатной температуре в течение 33 суток. По завершению выщелачивания гранулы извлекали из перколятора, промывали водой, сушили и анализировали.

Контроль процесса (отбор проб растворов) осуществляли с периодичностью один раз в 3 суток. По результатам анализов производили ежедневный подсчет количества извлечения меди, расхода выщелачивающего реагента и съема продуктивных растворов, концентрации металла в продуктивных растворах. На графике (рис. 4) приведены зависимости извлечения металла от продолжительности выщелачивания и степени термообработки.

Из графика видно, что извлечение металла из гранулированных хвостов обогащения зависит от продолжительности процесса выщелачивания. Максимальная степень извлечения наблюдается в первые 12 суток после процесса закисления. По окончании процесса выщелачивания процент извлечения металла из обожженных гранул составил 83,2%, что на 23% больше чем из гранул, не подвергавшихся термической обработке. Разница в извлечении металла в хвостах объясняется сгоранием вредных примесей (сера, мышьяк и др.) при термической обра-

ботке которые оказывают негативное влияние на процесс выщелачивания; кроме того при обжиге происходит окисление содержащегося в хвостах металла, что способствует более полному извлечению, а также изменению структуры гранул (большая пористость).

С увеличением содержания цемента в гранулах происходит снижение извлечения металла (рис. 5). Так, при содержании цемента 5%, из пробы извлекается 91% полезного компонента, а при 25%-ом содержании цемента – всего 68%, т.е. разница в извлечении составляет 23%. Это объясняется ухудшением проницаемости гранул при увеличении содержания цемента, а так же ростом расхода растворителя (серной кислоты) на выщелачивание цемента.

Кривые извлечения металла от продолжительности выщелачивания и размера гранул (рис. 6) свидетельствуют, что наиболее эффективно выщелачивание происходит из гранул диаметром 20 мм. Уже на 6 сутки выщелачивания из них извлечено 50% полезного компонента, в то же время из гранул диаметром 30 мм извлечено всего лишь 38% металла. На 30 сутки из гранул диаметром 20, 25 и 30 мм извлечено соответственно 85, 81, и 73% полезного компонента.

Выводы

1. Одним из перспективных направлений переработки запасов техногенных месторождений является гранулирование хвостов обогащения с последующим выщелачиванием в

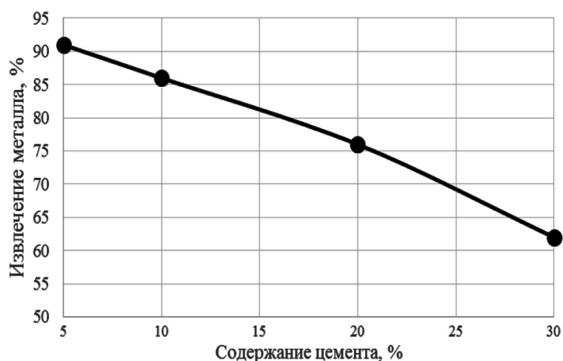


Рис. 5. Изменение извлечения металла от содержания цемента в гранулах

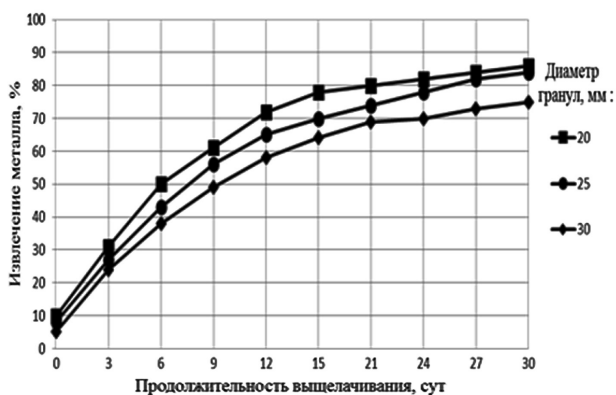


Рис. 6. Изменение извлечения металла от продолжительности выщелачивания и размера гранул

подземных условиях либо на поверхности (кучное выщелачивание).

2. Установлены зависимости прочности гранул от содержания цемента, сроков твердения и степени термической обработки.

3. Установлены зависимости извлечения металла из проб от сроков выщелачивания и от степени термической обработки гранул.

4. Задачами дальнейших исследований является обоснование рациональной технологии изготовления гранул из хвостов обогащения, их доставки в отработанные камеры для подземного выщелачивания, параметров искусственного закладочного массива и технологии подземного и кучного выщелачивания.

1. Кучное выщелачивание благородных металлов / Под ред. М.И. Фазлуллина. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 648 с.
2. Возмилов А.М. Отходы горнорудного производства Читинской области // Вестник МАНЭБ. – 1999. – № 6(18). – С. 25–28.
3. Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: МГУ, 2001. – 656 с.
4. Антоненко Л.К., Зотеев В.Г. Проблемы переработки и захоронения отходов горно-металлургического производства // Горный журнал. – 1999. – № 2. – С. 70–73.
5. Антоненко Л.К., Зотеев В.Г. Проблемы безопасной эксплуатации хвостохранилищ и пути их решения // Горный журнал. – 1998. № 1. – С. 65–67.
6. Рубцов Ю.И. О формализованной динамике скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцевых руд // Цветные металлы. – 2007. – № 5. – С. 26–30.
7. Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н. О динамике скоростного кучного выщелачивания золота из окисленных кварцевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 5. – С. 157–164.
8. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Манзырев Д.В. Перспективные способы выщелачивания золота из техногенных образований Забайкалья с использованием фотоэлектрохимических процессов // Вестник ЧитГУ. – 2011. – № 2(69). – С. 106–111.
9. Рубцов Ю.И., Резник Ю.Н. Методика расчета скоростного цианидного кучного выщелачивания золота // Вестник ЧитГУ. – 2009. – № 1(52). – С. 106–112.
10. Пирогов Г.Г. Природоохранная ресурсосберегающая технология разработки рудных месторождений // Вестник ЧитГУ. – 2011. – № 3(70). – С. 64–70. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лизункин Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: prmpi.zabgu@mail.ru,
 Гурулев Андрей Леонидович – аспирант, e-mail: andrejgurulev@rambler.ru,
 Забайкальский государственный университет.

UDC 622.272/.275; 622.233.:622.235

TECHNOLOGY OF USE TAILS DARASUNSKOE GOLD MILL AS GRANULATED BACKFILL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS

Lizunkin V.M.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: prmpi.zabgu@mail.ru,
 Gurulev A.L.¹, Graduate Student, e-mail: andrejgurulev@rambler.ru,
¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

Many mining enterprises, over the years of their activity, have accumulated a large amount of waste: waste rock, poor ores, tailings, etc. Storage of these stocks on the surface is harmful to the environment. The article suggests a promising direction for technogenic deposits, which consists in granulating current or stale tailings and subsequent leaching on the surface (heap leaching) or in underground conditions. In the latter case, an artificial array of granules can be used as a backfill goaf. Laboratory studies have established the technical feasibility of using granular tailings as raw materials for underground and heap leaching. The dependence of the average strength of granules from their size and cement content. Also the dependence of metal extraction from granulated backfill from time constraints of leaching and the degree of heat treatment of the granules.

Key words: granules, underground leaching, gold, strength, tailings, consolidating backfill.

REFERENCES

1. Kuchnoye vyshchelachivanie blagorodnykh metallov. Pod red. M.I. Fazlullina (Heap leaching of precious metals, Fazlullin M.I. (Ed.)), Moscow Izdatel'stvo Akademii gornykh nauk, 2001, 648 p.
2. Возмилов А.М. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. 1999, no 6(18), pp. 25–28.
3. Arns V.Zh. Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya (Physico-chemical Geotechnology), Moscow, MGU, 2001, 656 p.
4. Antonenko L.K., Zoteev V.G. Gornyi zhurnal. 1999, no 2, pp. 70–73.
5. Antonenko L.K., Zoteev V.G. Gornyi zhurnal. 1998, no 1, pp. 65–67.
6. Rubtsov Yu.I. Tsvetnye metally. 2007, no 5, pp. 26–30.
7. Rubtsov Yu.I., Reznik Yu.N. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2007, no 5, pp. 157–164.
8. Sekisov A.G., Lavrov A.Yu., Manzyrev D.V. Vestnik ChitGU. 2011, no 2(69), pp. 106–111.
9. Rubtsov Yu.I., Reznik Yu.N. Vestnik ChitGU. 2009, no 1(52), pp. 106–112.
10. Pirogov G.G. Vestnik ChitGU. 2011, no 3(70), pp. 64–70.