



ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

А. Б. Птицын

Обилие и разнообразие отвалов горнорудного производства в Забайкалье поставило перед учеными и практиками двойную задачу: комплексная оценка и освоение техногенных месторождений, и обезвреживание потенциальных источников загрязнения биосферы. Эта задача может решаться путем широкого использования геотехнологических методов, включая био- и криогеотехнологию. Забайкалье следует рассматривать как наиболее перспективный объект для совершенствования и применения геотехнологических методов.

Ключевые слова: техногенные месторождения, геотехнология, геоэкология, Забайкалье.

PROBLEMS OF TECHNOGENIC DEPOSITS DEVELOPMENT IN TRANSBAIKALIA

A. B. Ptitsyn

Studying the abundance and diversity of dumps connected with metal mining industry in Transbaikalia scientists and experts are facing a dual problem such as comprehensive assessment and development of technogenic deposits and detoxication of potential sources of bio-contamination. This problem can be solved by an extensive use of geotechnological methods, including bio- and cryogeotechnology. Transbaikalia should be considered as the most promising object for an improvement and application of geotechnological methods.

Keywords: technogenic deposit, geotechnology, geoecology, Transbaikalia.

За длительную (более 300 лет) историю горнодобывающей промышленности в Забайкалье накоплено огромное количество отходов – отвалов бедных (условно) руд и хвостов обогащения. Следует помнить, что руды, которые 200–300 лет назад относились к забалансовым, сегодня стали кондиционными. Эти отвалы содержат значительные количества ценных компонентов (см. рисунок) и могут быть названы техногенными месторождениями, хотя этот термин (по мнению автора, удачный) в последнее время многими оспаривается. Наличие ценных компонентов в техногенных месторождениях связано не только с изменившимися условиями, но и с монопрофильностью многих горных предприятий в прошлом: в отвалы уходил материал, являющийся кондиционной рудой на непрофильные элементы. Кроме промышленно ценных компонентов, техногенные отвалы часто содержат вредные для природы и человека токсичные элементы, в том числе особо опасные (As, Hg, Tl, Pb).

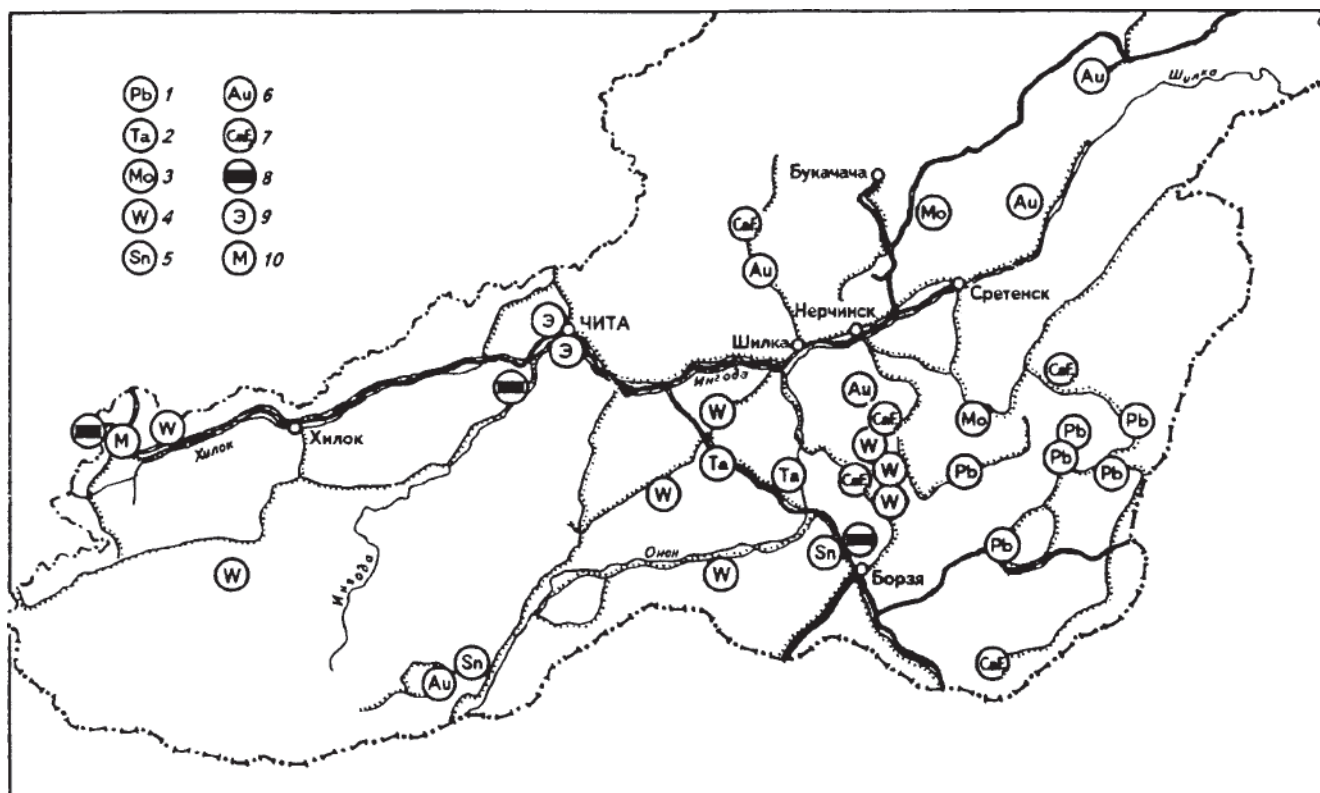
Поэтому проблема переработки техногенных месторождений имеет как сырьевой, так и экологический аспекты. Оба эти аспекта чрезвычайно актуальны. Сырьевой – потому, что руда уже извлечена на поверхность, следовательно, наиболее затратные работы (горные) выполнены. Экологический – потому, что складированный на поверхности измельченный рудный материал легко доступен для окислительного выщелачивания кислородом воздуха и атмосферными осадками, в том числе кислотными дождями [2, 13, 14, 15], причем не только сернокислыми. Добавление к сернокислому раствору азотистых соединений резко (в разы) интенсифицирует процесс выщелачивания сульфидов [3]. В результате происходит

интенсивное загрязнение окружающей среды различными, в том числе высокотоксичными, элементами, что подтверждено многочисленными и широко известными публикациями [11 и др.].

Вследствие специфичности техногенного сырья его переработка традиционными технологическими методами не принесет желаемого результата. Наиболее эффективными в данном случае будут геотехнологические методы – отвальное и кучное выщелачивание.

Геотехнология определяется как метод добычи цветных, редких и благородных металлов путем их избирательного растворения химическими реагентами на месте залегания и последующего извлечения ценных компонентов из раствора с получением товарного продукта. По экономическим показателям геотехнология превосходит традиционные методы [1, 10]. Если капитальные затраты на извлечение золота по стандартной технологии (чановое выщелачивание с предварительным перемешиванием, осаждение золота цинковой пылью) принять за единицу, то для геотехнологического варианта (кучное выщелачивание с предварительным дроблением руды, осаждение золота на угле, электролиз) они составят 0,32. Соответствующее соотношение эксплуатационных затрат – 1:0,66.

Геотехнологические методы, главным образом кучное и в меньшей степени подземное выщелачивание, давно и широко используются в разных странах (США, Испании, Чили, Чехословакии, Канаде, Мексике, Перу, Замбии, Австралии, ЮАР и др.) в основном для добычи урана, меди, золота и серебра. Известны запатентованные разработки по выщелачиванию свинца, цинка, молибдена, вольфрама, олова, мышьяка, висмута и других металлов [6, 12, 18, 19, 21, 23, 24]. В Забайкалье в настоящее время



Размещение скоплений отходов горнорудных предприятий, содержащих: 1 – полиметаллы, 2 – редкие металлы, 3 – молибден, 4 – вольфрам, 5 – олово, 6 – золото, 7 – флюорит, 8 – уголь, отходы от энергетических (9) и металлургических (10) производств

ма подземным выщелачиванием добывается уран, а кучным выщелачиванием – золото.

Мировой опыт использования геотехнологии относится главным образом к районам с теплым климатом. Однако результаты экспериментальных исследований [9] свидетельствуют о том, что выщелачивание металлов из руд можно проводить и при отрицательных температурах. Это новое направление названо **криогеотехнологией**. Достаточная активность химического выщелачивания металлов из руд и пород при отрицательных температурах обеспечивается наличием концентрированных незамерзающих растворов. Кριοгеотехнология обладает целым рядом специфических особенностей, из которых отметим следующие:

- значительно (примерно на порядок) более высокие концентрации полезного компонента в продуктивном растворе;
- возможность минимизации отрицательного влияния заиливания;
- возможность интенсификации (в 1,5–2 раза) процесса перевода полезного компонента в раствор с помощью некоторых отработанных в лабораторных условиях приемов.

В геохимических процессах огромную роль играют бактерии. Диапазон их возможностей чрезвычайно широк: образование и разложение минералов, использование минералов как источника энергии для производства живого вещества (хемоавтотрофы), повышение и понижение окислительного потенциала, способность «работать»

при низких (до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высоких (до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах, устойчивость в широком диапазоне pH и т. д. Поэтому естественно, что в геотехнологии нашло применение и бактериальное выщелачивание [3, 5, 7, 8, 15, 20, 22].

В присутствии бактерий достигается существенная интенсификация процесса выщелачивания. Например, тионовые бактерии *Thiobacillus ferrooxidans* и др. могут использоваться при выщелачивании меди, никеля, цинка, мышьяка, кадмия, золота и других металлов. В России и Канаде разрабатываются технологии бактериального выщелачивания мышьяка и вскрытия тонко вкрапленного золота из упорных золотосодержащих концентратов перед их цианированием, что позволяет исключить дорогостоящий процесс обжига, загрязняющий атмосферу ядовитыми соединениями мышьяка. Использование бактериального выщелачивания позволяет решить проблему переработки труднообогатимых руд.

Теоретические основы биохимических и микробиологических процессов растворения и осаждения золота, возможность их использования для переработки упорных и мышьяксодержащих руд, а также технико-экономические показатели и перспективы развития этих способов золотодобычи наиболее полно рассмотрены в монографии Г. Г. Минеева [7].

В процессах бактериального выщелачивания золота главную роль играют продукты микробного синтеза: аминокислоты, пептиды, белки и нуклеиновые кислоты. Углеводы в растворении зо-



лота участия не принимают. Экспериментально установлено, что в кислой среде белки осаждают золото, а в щелочной – растворяют. Солерастворимые белки микробного синтеза существенно лучше растворяют золото, чем солерастворимый глобулин животного происхождения. Реакционная способность пептидов зависит от их молекулярного веса: чем меньше молекулярный вес, тем выше растворимость золота.

Использование всего спектра геотехнологических методов, включая био- и криогеотехнологию, открывает широкие перспективы решения сырьевых и экологических задач в Забайкалье. Учитывая большое разнообразие техногенного сырья в Забайкальском крае, целесообразно создать специальную программу оценки техногенных месторождений и их геотехнологической переработки, построить многопрофильные предприятия и приступить к систематической ликвидации техногенных «помоек», угрожающих экологическому благополучию биосферы. Научная основа такой работы в значительной степени заложена институтами Сибирского отделения РАН в рамках программы «Сибирь».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Адамов, Э. В.** Бактериальное и химическое выщелачивание металлов из руд [Текст] / Э. В. Адамов, В. В. Панин // Итоги науки и техники. Обогащение полезных ископаемых. – М. : ВНИИ-ТИ, 1974. – Т. 8. – С. 5–67.
2. **Бортникова, С. Б.** Геохимическая оценка потенциальной опасности отвалов пород Ведугинского месторождения [Текст] / С. Б. Бортникова, О. Л. Гаськова, Н. А. Присекина // Геохимия. – 2010. – № 3. – С. 295–310.
3. **Геохимия** криогенных зон окисления [Текст] / А. Б. Птицын, В. А. Абрамова, Т. И. Маркович, Е. С. Эпова. – Новосибирск : Наука, 2009. – 88 с.
4. **Каравайко, Г. И.** Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд [Текст] / Г. И. Каравайко, С. И. Кузнецов, А. И. Голомзик. – М. : Наука, 1972. – 248 с.
5. **Коробушкина, Е. Д.** Роль микроорганизмов и продуктов их метаболизма в растворении золота : Автореф. дис. ... к. биол. н. [Текст] / Е. Д. Коробушкина. – Иркутск, 1975. – 32 с.
6. **Лодейщиков, В. В.** Извлечение золота из упорных руд и концентратов [Текст] / В. В. Лодейщиков. – М. : Недра, 1968. – 204 с.
7. **Минеев, Г. Г.** Биометаллургия золота [Текст] / Г. Г. Минеев. – М. : Металлургия, 1989. – 159 с.
8. **Парес, И.** Бактериальное выщелачивание золота. Биологическое исследование этого явления. Проблема практического применения [Текст] / И. Парес. – Л., 1968.
9. **Птицын, А. Б.** Геохимические основы геотехнологии металлов в условиях мерзлоты [Текст] / А. Б. Птицын. – Новосибирск : Наука, 1992. – 118 с.
10. **Птицын, А. Б.** Добыча золота методами геотехнологии. Ч. 1. Технологические решения [Текст] / А. Б. Птицын // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 1. – С. 102–114.
11. **Рудные** элементы в водах зоны гипергенеза месторождений Забайкалья [Текст] / Ю. Ф. Погребняк, Л. А. Кондратенко, Т. Г. Лапердина [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1989. – 203 с.
12. **Хабилов, В. В.** Технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья [Текст] / В. В. Хабилов, В. К. Забельский, А. Е. Воробьев [и др.]. – М. : Недра, 1994. – 271 с.
13. **Чантурия, В. А.** Инженерная экология: особенности гипергенных процессов в засклавированных горнопромышленных отходах [Текст] / В. А. Чантурия, В. Н. Макаров, Д. В. Макаров // Инженерная экология. – 1999. – № 4. – С. 2–9.
14. **Щербакова, Е. П.** Экспериментальное исследование геохимической устойчивости хранилищ отходов обогащения сульфидных руд [Текст] / Е. П. Щербакова, А. Видерлюнд, Д. Н. Малиновский // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2004. – № 2. – С. 134–141.
15. **Экологическая** оценка потенциальной токсичности рудных месторождений (методические рекомендации) [Текст] / Р. В. Голева, В. В. Иванов, И. И. Куприянова [и др.]. – М., 2001. – 53 с.
16. **Attia, Y. A.** Bioleaching of gold tailings with adapted bacteria [Text] / Y. A. Attia, M. El-Zeky // Hydrometallurgy. – 1989. – Vol. 22. – P. 291–300.
17. **Bioavailability**, mobility, and toxicity of Cu in soils around the Dexing Cu mine in China [Text] / G. Guo, T. Yuan, Wang [et al.] // Environ. Geochem. Health. – 2011. – Vol. 33. – P. 2.
18. **Davis, A.** Solution chemistry of iodide leaching of gold [Text] / A. Davis, T. Tran, D. R. Young // Hydrometallurgy. – 1993. – Vol. 32. – P. 143–159.
19. **Gold** and silver recovery by cyanidation of arsenopyrite ore [Text] / F. Espiell [et al.] // Hydrometallurgy. – 1986. – Vol. 16. – P. 141–151.
20. **Kelly, B. C.** Microbial oxidation of minerals in mine tailings [Text] / B. C. Kelly, O. H. Tuovinen // Chemistry and biology of solid waste. – Berlin : Springer, 1988. – P. 33–53.
21. **Lewis, A.** Leaching and precipitation technology for gold and silver ores [Text] / A. Lewis // Engineering and Mining Journal. – 1983. – Vol. 184, N 6. – P. 48–56.
22. **Murthy, D. S. R.** Microbially enhanced thio-urea leaching of gold and silver lead-zinc sulphide flotation tailings [Text] / D. S. R. Murthy // Hydrometallurgy. – 1990. – Vol. 25. – P. 51–60.
23. **Qi, P. H.** Dissolution kinetics of gold in iodide solutions [Text] / P. H. Qi, J. B. Hiskey // Hydrometallurgy. – 1991. – Vol. 27. – P. 47–62.
23. **Rose, T. K.** The metallurgy of gold [Text] / T. K. Rose, W. A. C. Newman. – London, 1937. – 561 p.