



**АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЗОЛОТОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ANALYSIS, ASSESMENT AND DIRECTIONS FOR REDUCING
ECOLOGICAL IMPACT ON THE ENVIRONMENT BY GOLD MINING
ENTERPRISES**

Хапсироков Астемир Сергеевич, аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова (НПИ), Россия, г. Новочеркасск, astemir_khaps@mail.ru

Khapsirokov Astemir Sergeevich, postgraduate student, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Russia, Novocherkassk, **e-mail:** astemir_khaps@mail.ru

Аннотация

Данное исследование посвящено анализу и оценке экологического состояния территорий разрабатываемых золоторудных месторождений. Методикой проведения работы являются анализ научной литературы, статистические данные общего доступа, математические расчеты и графическое моделирование, а также собственные наблюдения из опыта разработки золоторудных месторождений. Проведен анализ экологической ситуации на месторождениях рудного золота. Создана классификационная шкала

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

экологического воздействия золотодобывающих компаний на этапе обогащения руды на элементы окружающей среды. Полученные результаты показывают необходимость внесения изменений в технологии обогащения рудного золота, как следствие постоянно ухудшающейся экологической ситуации.

Abstract

This research is devoted to the analysis and assessment of the ecological state of the territories of the developed gold deposits. The methodology of the work is the analysis of scientific literature, public access statistics, mathematical calculations and graphical modeling, as well as our own observations from the experience of developing gold deposits. The analysis of the ecological situation at the deposits of ore gold has been carried out. A classification scale of the environmental impact of gold mining companies at the stage of ore beneficiation on environmental elements has been created. The results obtained show the need to make changes in the technology of gold ore enrichment, as a result of the constantly deteriorating environmental situation.

Ключевые слова: классификационная шкала, экологическая нагрузка, воздействие на экологию, элементы окружающей среды, золотодобывающая промышленность, разработка месторождений рудного золота, выщелачивание и цианирование, размещение отвалов и хвостохранилищ.

Keywords: classification scale, environmental impact, environmental elements, gold mining, development of ore gold deposits, leaching and cyanidation, disposal of dumps and tails.

Значительное повышение удельных показателей экологического влияния в золотодобывающей отрасли за последний десятилетний период (табл. 1) как никогда раньше отображает серьезность экологической ситуации на Крайнем Севере, где практически находятся основные запасы золота (рис. 2) и золотодобывающие предприятия России.

Таблица 1

Сравнение показателей, характеризующих экологическое нагрузку деятельности подземной и открытой разработки месторождений рудного золота

Показатель	2009-2019 гг.		2019-2022 гг.	
	Открытый способ	Подземный способ	Открытый способ	Подземный способ
Объем добычи, %	95	5	90	10
Удельный показатель выбросов в атмосферу, кг/т добычи	7,23	2,01	10,96	2,61
Удельный показатель сброса сточных вод, м ³ /т добычи	17,42	8,77	20,34	9,95
Удельный показатель размещения отходов, т/т добычи	5,58	1,01	8,74	2,56
Удельный показатель нарушения земель, Га/млн. т добычи	11,94	4,29	21,24	7,24

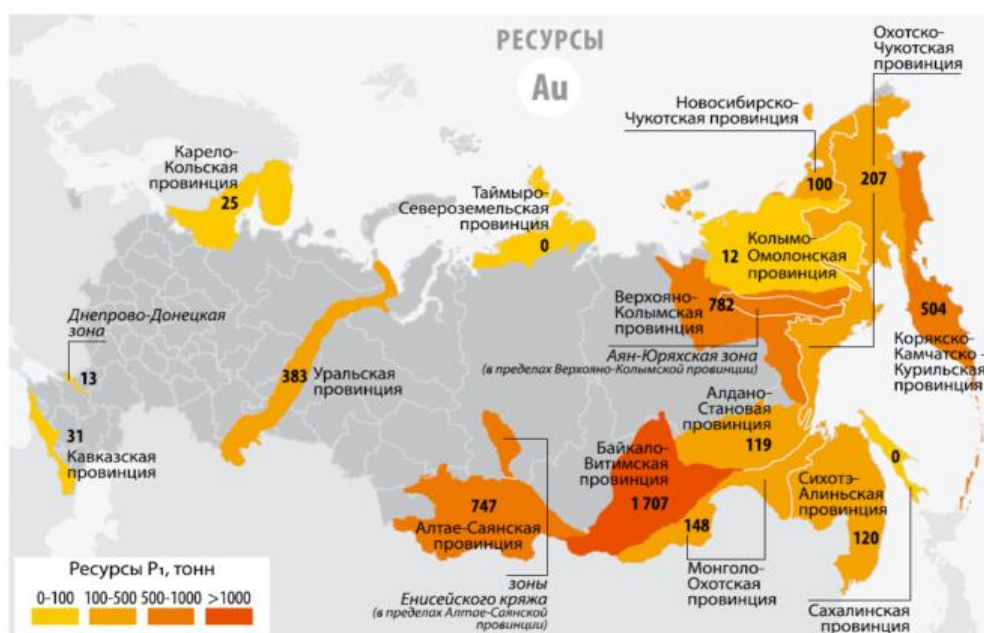


Рис. 2 – Ресурсы золота в России на 2021 год

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Так как в последние годы происходит тенденция разработки упорных руд и техногенных месторождений золота (отвалы некондиционных руд и хвостохранилища), в особенности, с применением таких способов обогащения, как выщелачивание и цианирование, и тем более в условиях Крайнего Севера, где к проблемам экологии зачастую имеют индифферентное отношение, то имеет важное значение обратить внимание на такой этап горных работ золотодобывающей отрасли, как обогащение руд и размещение хвостов производства, и проанализировать комплексное влияние существующих и набирающих популярность способов обогащения на окружающую среду [1]. Основной задачей нашего исследования является создание экологической шкалы воздействия (нагрузки) на элементы окружающей среды различных способов обогащения.

Деятельность золотодобывающих предприятий проходит различные этапы горных работ, начиная с геологической разведки и заканчивая периодом мониторинга после рекультивации и закрытия рудника. Каждый этап горных работ связан с различными видами воздействия на окружающую среду [2]. Масштаб этого воздействия на экосистему региона характеризуется комплексной оценкой объектов воздействия (табл. 3).

Таблица 3

Основные этапы золотодобычи и их комплексное воздействие на окружающую среду

	Подготовительные работы, %	Добыча полезного ископаемого, %	Размещение отвалов, %	Обогащение и размещение хвостохранилищ, %	Общее воздействие, %
Воздействие на водные ресурсы, %	4,5	4,5	7	13	35
Воздействие на	3	8	3	7	21

атмосферный воздух, %					
Воздействие на дикую природу, %	2	1,5	2	3,5	9
Воздействие на почву, %	2,5	7	9	10,5	29
Воздействие на общественные ценности, %	1	1	2	2	6
Итого, %	13	22	23	42	100

Главным источником деградирующего воздействия на окружающую среду в золотодобывающей отрасли является такой этап горных работ, как обогащение руд на обогатительных фабриках и размещение отходов их производства (хвостов), а наиболее угнетенными деятельностью горных работ элементами биосферы являются водная и воздушная бассейны и почва. Процесс изъятия полезного ископаемого из недр открытым способом оставляет наиболее сильные нарушения поверхности земли (рис. 3).

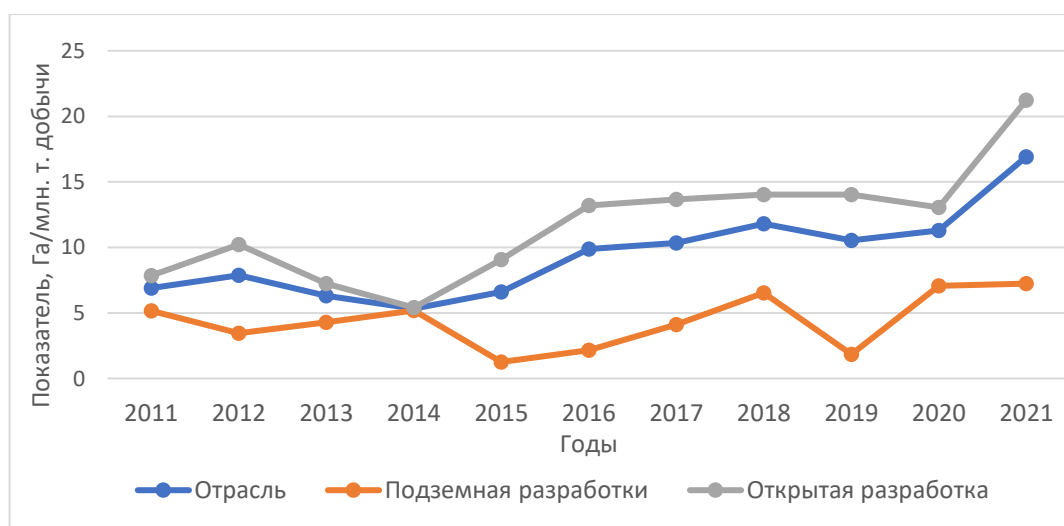


Рис. 4 – Динамика нарушенных земель за 2011-2021 гг.

В настоящее время большинство золотодобывающих предприятий для обогащения рудного золота применяют технологию кучного выщелачивания

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" на некондиционных рудах (Рис. 5) и технологии обогащения богатых руд на золотоизвлекательной фабрике (Рис. 6) с применением цианирования, включая его в различные схемы обогащения.

Кучное выщелачивание заключается в многократном промывании бедной руды (0,3-0,7 г/т), уложенной в штабель на специально подготовленном основании, цианистыми растворами, сборе дренирующих металлосодержащих растворов и последующем извлечении золота из растворов гидрометаллургическим способом. Техногенное воздействие предприятий, применяющих технологию кучного выщелачивания, на объекты окружающей среды носит комплексный характер, связанный с загрязнением атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв прилегающей территории, отчуждением и нарушением земель, нарушением и даже разрушением природных биоценозов.

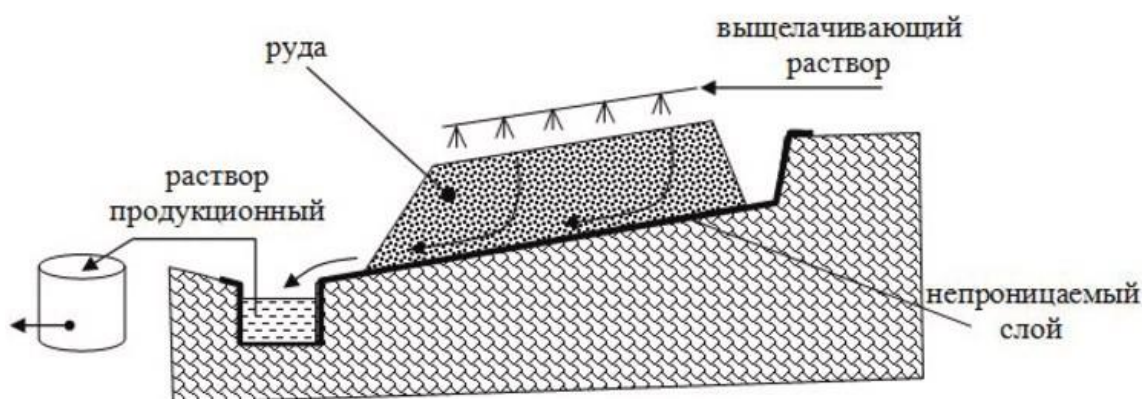


Рис. 5 - Схема обогащения некондиционной руды (0,3-0,7 г/т) с помощью кучного выщелачивания



Рис. 6 - Типовая блок-схема переработки рудного золота на ЗИФе в большинстве горнодобывающих предприятий

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Несомненным преимуществом технологии прямого цианирования на золотоизвлекательной фабрике по сравнению с установкой кучного выщелачивания является то, что этот метод позволяет показать высокие значения извлечения металла (90-95%) при обогащении легкообогатимых руд (табл. 7), снизить количество потерь золота, перерабатывать руду в замкнутом цикле, минимизировав неорганизованные источники выбросов реагентов [3]. Важным следствием замкнутого цикла производства является возможность значительно снизить воздействия на водный и воздушный бассейны сопредельной территории, хотя, как показывает практика, не исключены утечки реагентов.

Цианидный способ не обеспечивает высокое извлечение (табл. 7) вкрапленного и ассоциированного тонкодисперсного золота из упорных руд, и оно достигается в случае использования предварительных (до цианирования) процессов вскрытия упорного золота. При такой схеме обогащения в разы повышается нагрузка на экологию.

Таблица 7

Показатели извлечения Au из легкообогатимых и труднообогатимых руд

	Легкообогатимые руды	Труднообогатимые руды
Цианирование на УКВ	бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 70-83% извлечения металла	бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 20-45% извлечения металла
Цианирование на ЗИФ (с применением предварительных этапов подготовки труднообогатимых руд)	богатые руды (0,8 г/т и выше) – 90-95% извлечения металла; бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 90-95% извлечения металла (экономически не выгодно)	богатые руды (0,8 г/т и выше) – 70-84% извлечения металла; бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 70-84% извлечения металла (экономически не выгодно)
Биоокисление на ЗИФ	богатые руды (0,8 г/т и выше) – 90-96% извлечения металла; бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 90-96% извлечения металла (экономически не выгодно)	богатые руды (0,8 г/т и выше) – 85-93% извлечения металла; бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 85-93% извлечения металла (экономически не выгодно)

Биоокисление на УКВ	бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 75-88% извлечения металла	бедные руды (0,3-0,7 г/т) – 60-75% извлечения металла
---------------------	---	---

Уже в недалёком будущем упорные руды станут основными в добыче. При оценке месторождений золота (Рис. 8) не только России, но и всего мира, основное сырьё будет в виде упорных руд на коренных месторождениях и некондиционных руд на техногенных месторождениях. Наша дальнейшая перспектива в будущем – это переработка упорных руд и техногенных месторождений [4].

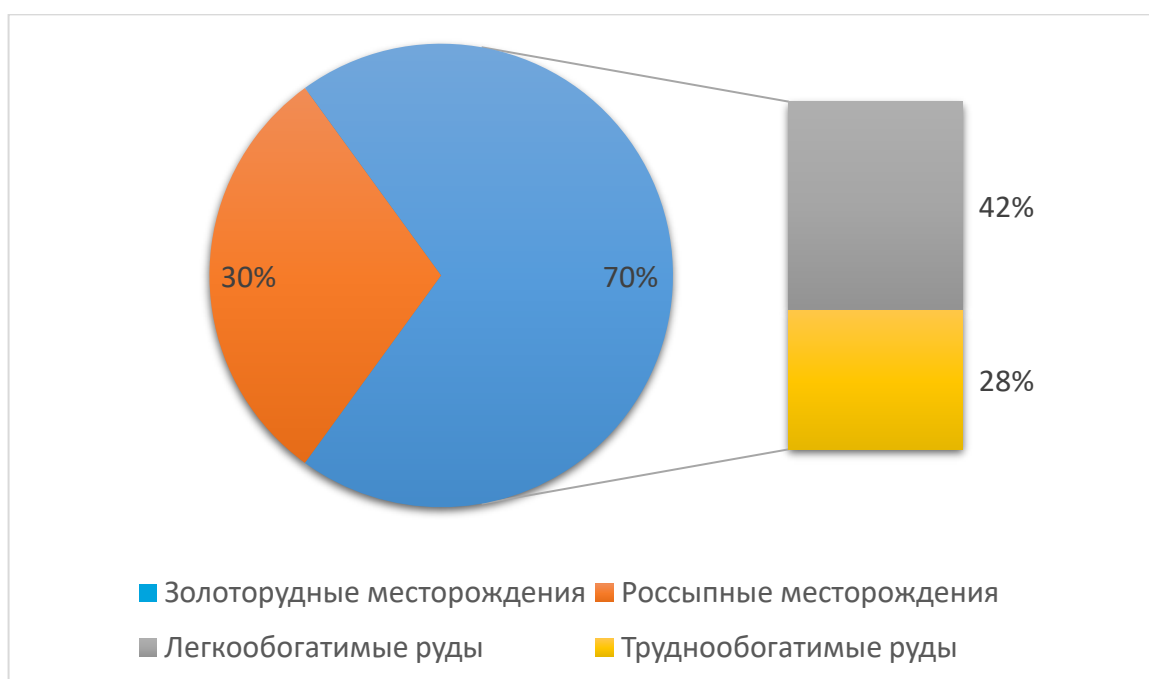


Рис. 8 - Виды руд и месторождений золота в России

Учитывая современные тенденции повышения доли труднообогащаемых руд золота на месторождениях, обогащение которых с помощью цианида, во-первых, экономически будет не выгодно, во-вторых – экологически небезопасно ввиду повышения расхода цианида в цепочке обогащения, следует рассмотреть другие экологичные способы обогащения руд золота.

В качестве альтернативного метода обогащения может быть предложен биохимический способ обогащения как упорных кондиционных руд на ЗИФ, так и некондиционных руд с помощью УКВ. Замещение цианистого выщелачивания бактериальным позволит включить в переработку

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

тонкодисперсное золото, содержащееся в упорной руде, а при КВ с применением биоокисления положительный эффект будет не хуже при обогащении легкообогатимых руд и выше при обогащении упорных руд, чем при прямом цианировании.

Преимущества биотехнологических методов добычи и переработки золота и других драгоценных и редкоземельных металлов заключаются не только в экологических и экономических аспектах, которые бесспорны в данном случае, но и в том, что они направлены на переработку упорных концентратов, хвостохранилищ, и забалансовых руд, если классические методы переработки малоэффективны. В результате обеспечивается высокая степень извлечения металла, около 90-95 %, тогда как без предварительной бактериальной обработки упорных руд выщелачивание золота не превышает 60–70 %. Недостатками использования данной технологии являются: низкая скорость процессов биовыщелачивания, высокие требования к однородности химического состава сырья, поступающего на биоокисление и необходимость введения компонентов культуральной жидкости. Опыт АО «Полюс Красноярск» на горно-обогатительном комбинате «Олимпиадинский» доказывает, что бактериальное выщелачивание упорных руд конкурентоспособно благодаря большей степени извлечения золота (90-95 %), снижению расхода реагентов при экстракции металлов, а также меньшему негативному влиянию на окружающую среду [5].

Рассмотрим экологическую нагрузку на оболочки Земли при использовании разных способов обогащения (табл. 9).

Таблица 9

Экологическое влияние способов обогащения на оболочки Земли

Оболочка Земли	Коэффициент значимости, K_n	Степень воздействия способа обогащения, C_n			
		УКВ	ЗИФ	БИО (УКВ)	БИО (ЗИФ)
Атмосфера	0,28	85	60	55	35
Гидросфера	0,26	80	35	30	15

Литосфера	0,22	90	30	70	20
Биосфера	0,24	70	40	30	15
Общий уровень воздействия, V_n	-	81,2	42,1	45,8	21,7

Установим зоны по уровню общего воздействия на окружающую среду (Рис. 10): белая зона – 0-9; зеленая зона – 10-39; желтая зона – 40-69; красная зона 70-100.

Для определения общего уровня воздействия V_n воспользуемся следующей формулой:

$$V_n = C_n * K_n, \text{ где}$$

- K_n коэффициент значимости для каждой из оболочек (для атмосферы – $K_{\text{атм}} = 0,28$; для гидросферы – $K_{\text{гид}} = 0,26$; для биосферы – $K_{\text{био}} = 0,24$; для литосферы – $K_{\text{лит}} = 0,22$);

- C_n - степень воздействия выбранного способа обогащения на оболочки Земли, определяемая по следующей шкале:

0 – оболочки Земли остаются нетронутыми;

50 – нарушение всех оболочек Земли, флора и фауна подвергается негативному воздействию, вследствие чего исчезают/уходят некоторые представители территории; экологическую ситуацию возможно восстановить до исходного состояния в течение 3-5 лет при применении необходимых мероприятий;

100 – полная деградация территории, отсутствие флоры и фауны, проживание на сопредельной территории опасно для жизни человека; восстановление экологической ситуации до исходного состояния исключено в течение следующих 15-20 лет.

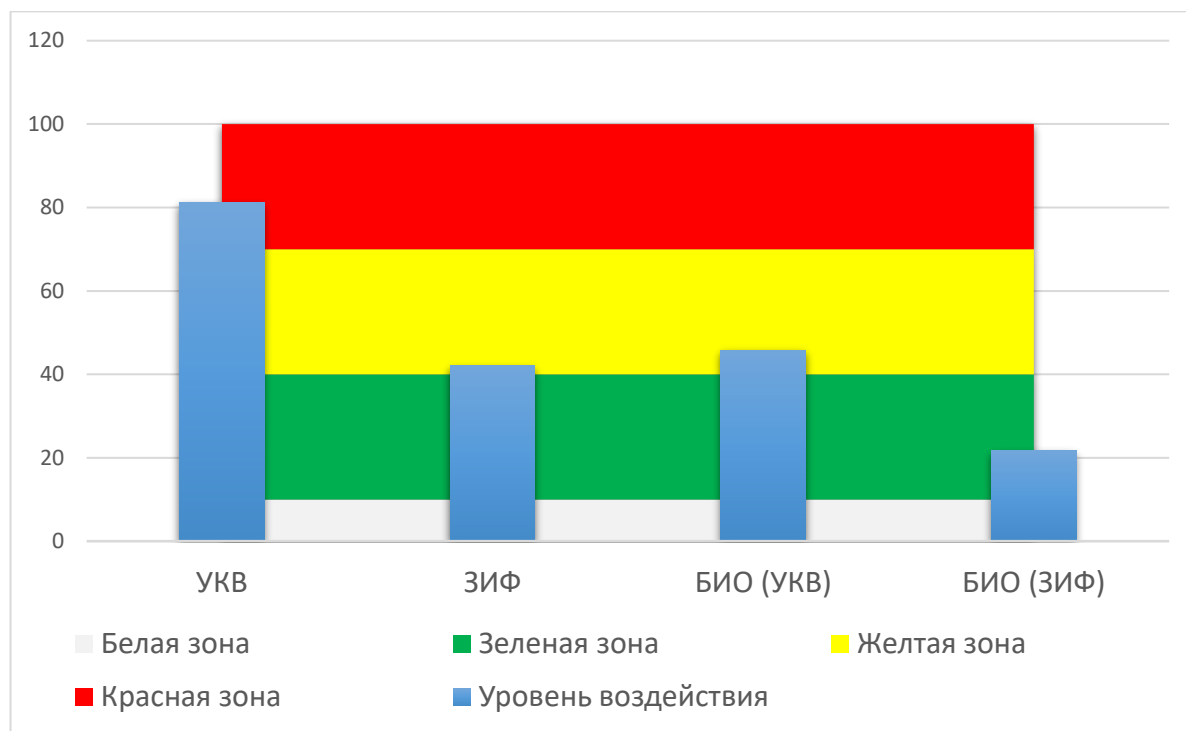


Рис. 10 - Шкала экологического воздействия способов обогащения

Подробное изучение охраны окружающей среды и мероприятий по сокращению воздействий горнодобывающих предприятий позволяет нам раскрыть особенности воздействий применения технологий на территории присутствия. Мы можем сделать следующие выводы:

Кучное выщелачивание при его производительности имеет ряд недостатков:

- строительство секций кучного выщелачивания влечет за собой увеличение площади нарушенных земель;
- несмотря на наличие комплексного обезвреживания технологических вод и растворов, сохраняется вероятность загрязнения подземных вод;
- технология кучного выщелачивания является водоемким производством;
- большая степень заполнения ландшафтов твердыми отходами с остаточным содержанием вредных веществ и недоизвлеченного ценного компонента;
- орошение секций выщелачивания цианистым раствором является неорганизованным источником выбросов цианидов.

Прямое цианирование на ЗИФ имеет ряд особенностей:

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

- замкнутый цикл и водооборот внутри цеха гидрометаллургии с полным контролем над сбросами и выбросами позволяет сократить воздействие на окружающую среду;
- меньше площадь нарушаемых земель, где располагается фабрика;
- значительные нарушенные хвостохранилищем территории;
- расход реагентов в цепочке обогащения с ростом объемов труднообогатимых руд в разы увеличивает экологическую нагрузку [6].

Для всех традиционных способов разработки месторождений характерно воздействие на экологию, затрагивающее в большей или меньшей степени практически все ее элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир. Эффективность традиционных технологий зависима от минерального состава руды и величины частиц, включенных в нее компонентов. С увеличением технологической упорности значительно снижается извлечение ценного компонента.

Проведенный анализ доказывает, что применение цианирования допустимо и оправдывает себя только при освоении легкообогатимых месторождений и при извлечении золота в условиях растущей тенденции освоения труднообогатимых руд становится все менее рентабельным, эффективным и экологически крайне опасным. Предполагается, что микробиологическая технология позволит перерабатывать руды и отходы, использование которых обычными методами нерентабельно. Биотехнологии позволят исключить загрязнение окружающей среды неорганизованными выбросами испарений цианистых растворов при обработке ими секций. Замещение цианирования биохимическими способами извлечения золота в процессе кучного выщелачивания позволит снизить воздействие на элементы окружающей среды.

Литература

1. Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

месторождений полезных ископаемых // Москва: ИПКОН РАН, 2014. 196 с.

2. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Реализация концепции устойчивого развития горных территорий – базис расширения минерально-сырьевого комплекса России // Москва: Устойчивое развитие горных территорий. 2015. С. 46-50.
3. Струков К.И., Бергер Р.В. Технология горно-обогатительного производства на предприятиях АО «Южуралзолото Группа Компаний» // Москва: Горный журнал. 2017. № 9. С. 11-15.
4. Пыталев И.А. Тенденции развития научно-методических основ определения параметров открытых горных работ при комплексном освоении недр Земли // Москва: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №S4-2. С. 29-38.
5. Канаев А.Т., Канаева З.К., Мырзаханова И.А., Уразбекова Г.Е., Сатыбалдиева Г.К., Мусаев К.Л. Глубокое извлечение золота из хвостов обогащения месторождения Акбакай культурой *Acidithiobacillus Ferrooxidans* // Москва: Успехи современного естествознания. 2013. №6. С. 115-121.
6. Зотеев О.В., Пыталев И.А., Якшина В.В., Гапонова И.В. Особенности формирования техногенной емкости на базе существующих внешних отвалов вскрышных пород // Тула: Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. Вып. 3. С. 22-36.

Literature

1. Trubetskoy K.N. Development of resource-saving and resource-producing geotechnologies of complex development of mineral deposits // Moscow: IPCON RAS, 2014. 196 p.
2. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Radchenko D.N. Implementation of the concept of sustainable development of mountain territories - the basis of expansion of the mineral-raw complex of Russia /Moscow: Sustainable development of mountain territories. 2015. P. 46-50.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

3. Strukov K.I., Berger R.V. Technology of mining and concentrating production at the enterprises of JSC "Yuzhural Gold Group of Companies" // Moscow: Mountain Magazine. 2017. No. 9. P. 11-15.
4. Pytalev I.A. Tendencies of development of scientific and methodical bases of determination of open mining parameters in complex development of the Earth's interior // Moscow: Mountain information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015. No. S4-2. P. 29-38.
5. Kanaev A.T., Kanaeva Z.K., Myrzakhanova I.A., Urazbekova G.E., Satybaldieva G.K., Musaev K.L. Deep extraction of gold from the tails' enrichment of Akbakai culture Acidophilus Ferritius/ Modern Moscow Success. 2013. No. 6. P. 115-121.
6. Zoteev O.V., Pytalev I.A., Yakshina V.V., Gaponova I.V. Features of formation of technogenic tank on the basis of existing external dumps of overgrown rocks // Tula: Tula University News. Earth Sciences. 2019. Ex. 3. P. 22-36.

©Хапсироков А. С., 2023. Международный журнал прикладных наук и технологий INTEGRAL. №2/2023

Для цитирования: Хапсироков А. С. АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЗОЛОТОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ// Международный журнал прикладных наук и технологий INTEGRAL. №2/2023