

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА В РУДНОМ ШТАБЕЛЕ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ДЕЛЬМАЧИК»)

MATHEMATICAL MODELING OF GOLD HEAP LEACHING IN AN ORE STACK (ON THE EXAMPLE OF THE «DELMACHIK» DEPOSIT)



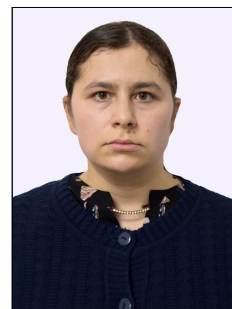
В. П. Мязин,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
myazinvpchita@mail.ru

V. Myazin,
Transbaikal State University,
Chita



Д. С. Гончаров,
ООО «Восток геосервис»,
г. Чита
myazinvpchita@mail.ru

D. Goncharov,
«Vostok Geoservice» LLC,
Chita



Е. С. Соколова,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
myazinvpchita@mail.ru

E. Sokolova,
Transbaikal State University,
Chita

В связи с чётко выраженной тенденцией вовлечения в эксплуатацию бедных руд с низким содержанием ценного компонента всё большее применение получает технология кучного выщелачивания. Как правило, она реализуется на небольших по запасам и размерам рудных месторождениях. К примеру, в Забайкальском крае число золотосодержащих месторождений – освоенных, осваиваемых и потенциально пригодных к освоению технологией кучного выщелачивания ценного компонента составляет порядка 31.

Месторождения, как правило, находятся на территории, представленной мёрзлыми и вечномёрзлыми грунтами. Характеризуются суровыми климатическими условиями и малоснежными зимами. Одним из перспективных направлений исследования является метод блочного моделирования, который с развитием информационных технологий приобретает особую значимость и направлен для решения актуальной задачи трёхмерного моделирования. Его главное преимущество заключается в том, что он позволяет количественно оценить пространственное распределение факторов, а также динамику их изменения во времени. *Объект исследования* – рудный штабель техногенного месторождения. *Предмет исследования* – математическое моделирование кучного выщелачивания золота. *Цель исследования* – разработать метод блочного моделирования кучного выщелачивания золота в рудном штабеле и методику для его реализации. *Методология исследования* – использование закономерностей фильтрационного и физико-химического просачивания выщелачивающих растворов через пористую среду рудного штабеля. *Методы исследования*: физико-математические методы моделирования процессов кучного выщелачивания; использование статистических методов для выявления закономерностей пространственного распределения факторов, влияющих на процесс кучного выщелачивания; использование программных продуктов (геоинформационных систем) для визуализации данных

Ключевые слова: кучное выщелачивание; рудный штабель; золото; ценный компонент; руда; блочное моделирование; модель; метод; методика; месторождение

Recently, due to the clearly expressed tendency to involve poor ores with a low content of a valuable component in the exploitation, heap leaching technology has been increasingly used. As a rule, it is sold on small reserves and sizes of ore deposits. For example, in the Transbaikal Territory, the number of developed gold-bearing de-

posits and potentially suitable for the development by heap leaching technology of a valuable component today is about 31. Moreover, deposits, as a rule, are located on the territory represented by frozen and permafrost soils. They are characterized by harsh climatic conditions and low-snow winters. One of the promising areas of the research is the method of block modeling, which, with the development of information technology, acquires special significance and is aimed at solving the urgent problem of three-dimensional modeling. Its main advantage is that it allows you to quantify the spatial distribution of factors, as well as the dynamics of their changes over time. *The object of research* is an ore stack of a technogenic deposit. *The subject of the study* is mathematical modeling of gold heap leaching. *The purpose of the study* is to develop a method for block modeling of gold heap leaching in an ore stack and a methodology for its implementation. *The research methodology* is the use of the regularities of filtration and physico-chemical seepage of leaching solutions through the porous medium of the ore stack. *Research methods are the following*: physical and mathematical methods modeling of heap leaching processes; use of statistical methods to identify patterns of spatial distribution of factors affecting the heap leaching process; use of software products (geoinformation systems) for data visualization

Key words: heap leaching; ore pile; gold; valuable component; ore; block modeling; model; method; technique; deposit

Введение. Для освоения техногенных месторождений и накопленных образований все большее применение получает метод кучного выщелачивания (КВ) ценных металлов.

К числу основных преимуществ метода КВ, по сравнению с фабричной технологией переработки полезных ископаемых, относятся наиболее низкие капитальные затраты и возможность вовлечения в эксплуатацию как мелких, так и крупных месторождений с минимальным экологическим ущербом, наносимым окружающей среде [8]. Однако эффективность КВ ценных металлов существенно зависит от множества физико-химических, технологических и природных факторов, часть которых не всегда представляется возможным оценить при проектировании установок кучного выщелачивания металлов. Особенно сильное влияние на эффективность выщелачивания ценных компонентов оказывают условия криолитозоны (низкие температуры окружающей среды, сильные ветры, малоснежные зимы, а также наличие на территории размещения объекта мерзлых и вечномёрзлых грунтов) [5]. Поэтому для учета особенностей геолого-технологических проявлений необходимо оценить свойства и состояние горных пород, конструктивные особенности параметров рудного штабеля и эффективность протекания в нем гидрометаллургических процессов. В этой связи для понимания предмета исследования следу-

ет прибегать к математическим методам моделирования [1; 2].

Исследование гидрометаллургического метода выщелачивания ценных металлов в специально формируемом рудном штабеле базируется на создании моделей изучаемого объекта, к числу которых относятся свойства и технологические особенности руды, процессы рудоподготовки, системы орошения выщелачивающим агентом и сбора продуктивных растворов для выделения из них ценного компонента. Без модели предмета нет его понимания. Математические модели и компьютерная реализация относятся к числу наиболее востребованных при описании объекта на физико-математическом языке.

Слово «модель» происходит от франц. «modele», итал. «modelo», лат. «modulus» – мера, образец, норма¹. Представляет упрощенное описание объекта на физико-математическом языке, например, производственных процессов для создания моделей, отражающих структуру процессов, характеристики объектов и потоки информации.

Метод блочного моделирования широко используется в последнее время. При блочном моделировании рудный штабель представляют в виде набора пространственных ячеек с заданными размерами и факторами, описывающими свойства объектов или процессов в определённой точке. Суть подхода к созданию модели состоит в использовании различных факторов, влияющих на интен-

¹ Советский энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия. 653 с.

сивность процессов выщелачивания ценного компонента. Использование математических закономерностей позволяет вычислить извлечение золота в каждом отдельном блоке рудного штабеля.

Несомненным преимуществом блочного моделирования является наглядная визуализация процесса выщелачивания, простая интеграция модели в существующие горно-геологические системы. Разработанная блочная модель рудного штабеля также дает возможность прогнозировать извлечение золота в любой промежуток времени, выявлять оптимальные значения параметров выщелачивания и реализовывать различные сценарии протекания физических процессов [4]. В конечном итоге, метод блочного моделирования позволит принимать обоснованные технические решения по выбору параметров выщелачивания на стадии проектирования, а также повысить эффективность краткосрочного или долгосрочного планирования горных работ.

Объект исследования – рудный штабель техногенного месторождения.

Предмет исследования – математическое моделирование кучного выщелачивания золота.

Цель исследования – разработать метод блочного моделирования кучного выщелачивания золота в рудном штабеле и методику для его реализации.

Задачи исследования:

- разработать основные этапы и алгоритм блочного моделирования;
- оценить горно-геологические и технологические факторы на степень извлечения золота в штабеле;
- выявить основные закономерности для построения математической модели и апробировать её применение к техногенному месторождению «Дельмачик».

Идея исследования базируется на использовании закономерностей фильтрационного и физико-химического просачивания выщелачивающих растворов через пористую среду рудного штабеля.

Методы исследования: физико-математические методы моделирования процессов кучного выщелачивания; использование статистических методов для выявления закономерностей пространственного распределения факторов, влияющих на процесс кучного выщелачивания; использование программных продуктов (геоинформационных систем) для визуализации данных.

Методика исследования. В основу работы положена методика блочного моделирования. Методика блочного моделирования кучного выщелачивания в штабеле представляет собой итерационный процесс (рис. 1): на основе исходных данных проводится серия расчетов с различными значениями рассматриваемых факторов. После расчетов выполняется анализ полученных результатов на основе статистических данных по извлечению золота, общему количеству блоков, вовлеченных в процесс выщелачивания и др. При необходимости исходные данные корректируются, и процесс расчета запускается повторно. По итогу выбирается модель с оптимальными параметрами выщелачивания.

Для расчета на ЭВМ разработан программный продукт «Блочное моделирование процесса кучного выщелачивания ценного компонента в штабеле», работающий под управлением горно-геологической системы Surpac и реализующий основные этапы рассмотренной методики².

Блочное моделирование кучного выщелачивания золота в рудном штабеле проводилось применительно к техногенному месторождению «Дельмачик».

Подготовительный этап создания блочной модели требует геометризации рудного штабеля и построение трехмерного объемного тела, называемого каркасом (солидом) (рис. 2). В дальнейшем такой каркас будет являться пространственным ограничителем для блочной модели. Приняты следующие значения основных параметров: длина основания (a) – 100 м; ширина основания (b) – 90 м; высота штабеля (h) – 10 м; величина угла откоса – 45°.

² Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021662885 Российская Федерация. Блочное моделирование процесса кучного выщелачивания ценного компонента в штабеле / Д. С. Гончаров, В. П. Мязин, Е. С. Соколова; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Забайкальский государственный университет. – № 2021662032; заявл. 29.07.2021; опубл. 06.08.2021. с.

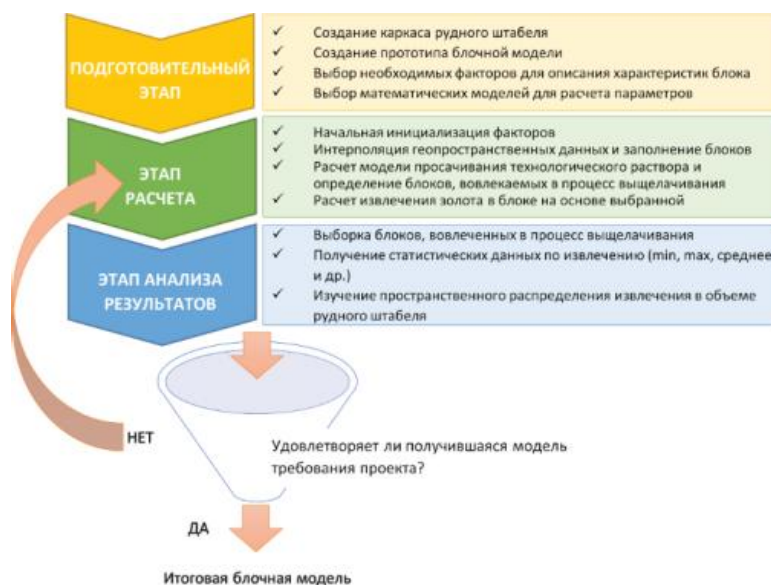


Рис. 1. Основные этапы блочного моделирования кучного выщелачивания /
Fig. 1. The main stages of heap leaching block modeling

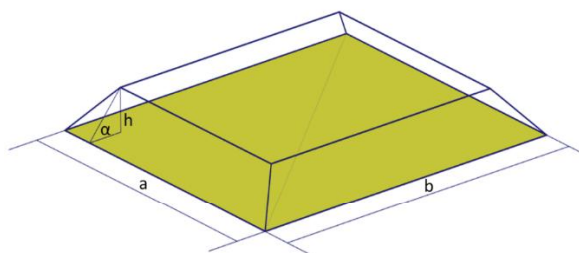


Рис. 2. Каркасные модели рудного штабеля.
Основные параметры для построения каркаса /
Fig. 2. Frame models of the ore stack. Basic
parameters for building a framework

Следующим этапом является создание прототипа блочной модели, в котором каркас заполняется множеством объемных ячеек (блоков) с заданными размерами. Прототип блочной модели рудного штабеля месторождения «Дельмачик» определяется следующими параметрами: число блоков по осям: $x = 100$; $y = 90$; $z = 10$; длина блока – 2 м; ширина блока – 2 м; высота блока – 0,5; использован метод субблокировки.

Одним из основных факторов, влияющих на эффективность кучного выщелачивания золота в рудном штабеле, является содержание ценного компонента [7]. В общем случае содержания элементов внутри рудного штабеля характеризуется неравномерным рас-

пределением. Следовательно, для получения полной пространственной картины необходимо выполнить отбор проб из разных точек рудного штабеля, а затем проинтерполировать известные содержания на все блоки, входящие в объем рудного штабеля. Для интерполяции содержаний золота используется метод обратных расстояний, суть которого заключается в том, что значения содержаний, измеренные близко от интерполируемого местоположения, оказывают большее влияние на результат, чем удаленные от него на значительное расстояние [3]. Значение содержания золота в отдельных блоках определяется по известным формулам.

В рудном штабеле месторождения «Дельмачик» отобрано 48 проб с содержаниями золота 1,5...2,3 г/т. Результат интерполяции в блочную модель представлен на рис. 3.

Моделирование процесса фильтрации раствора в штабеле основано на определении формы дисперсионных кривых. Использована известная формула Ротэ, определяющая форму депрессионной кривой зоны фильтрации [4]. Принцип получения дисперсионных кривых представлен на рис. 4.

Для каждой точки подачи раствора расстояние просачивания раствора по подошве штабеля определяется по известным формулам.

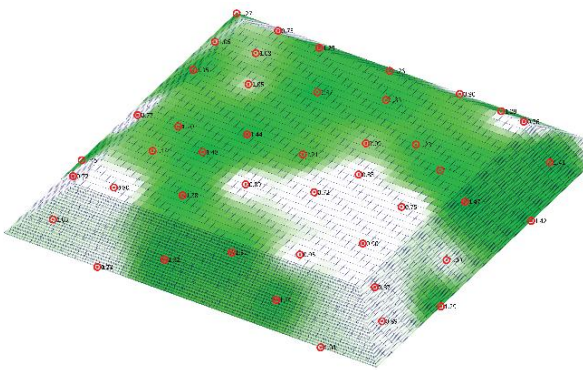


Рис. 3. Блочная модель с точками отбора проб и распределение содержаний в них / Fig. 3. Block model with sampling points and distribution of contents in them

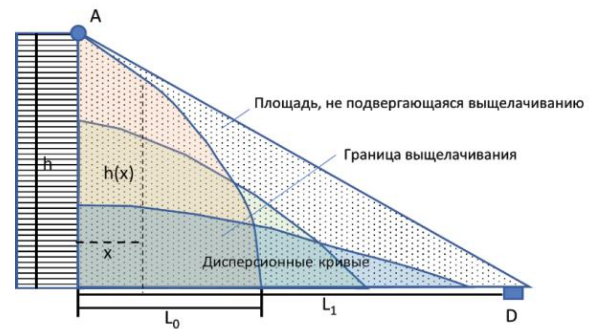


Рис. 4. Схема построения дисперсионных кривых для определения границ выщелачивания: А – точки подачи рабочего раствора; D – точка сбора выщелоченного раствора / Fig. 4. Scheme of dispersion curves construction for determining the boundaries of leaching; A – supply points of the working solution; D – collection point of the leached solution

При моделировании фильтрации продуктивного раствора в рудном штабеле выбрана прямоугольная сеть 10x10 точек подачи раствора, расстояние между точками 7 м по оси x и 6 м по оси y . Точка сбора выщелоченного раствора размещена у основания штабеля. Параметры для расчета дисперсионных кривых: высота штабеля – 10 м; коэффициент фильтрации – 3 м / сут;

недостаток насыщения грунта – 0,5; пористость – 33 %.

В результате расчетов получено множество триангуляционных поверхностей, соответствующих каждой точке подачи продуктивного раствора с учетом ее удаления от дренажного устройства. Общий вид дисперсионных кривых на поперечном разрезе представлена на рис. 5.

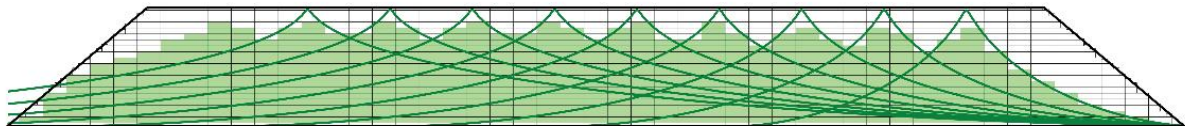


Рис. 5. Модель фильтрации раствора в рудном штабеле: поперечный разрез рудного штабеля с множеством дисперсионных кривых / Fig. 5. The model of the solution filtration in the ore stack: a forward section of an ore stack with a set of dispersion curves

В соответствии с общей теорией массопереноса [6] при расчете извлечения золота в отдельном блоке использована обобщенная модель кучного выщелачивания в рудном штабеле. Модель включает функциональные зависимости, реализующие основные физико-химические и технологические факторы, влияющие на процесс кучного выщелачивания: содержание золота в исходной руде, г/т; содержание цианида в рабочем растворе; максимальный диаметр рудного куска в штабеле, мм; коэффициент фильтрации выщелачивающего раствора, м/сут; интенсивность

орошения рудного штабеля; температура, при которой выполняется выщелачивание ценного компонента, K .

Обобщённая формула (1) математической модели кучного выщелачивания золота имеет вид

$$E(t) = K \cdot \left[1 - \exp \left(-\beta \frac{w_0 \cdot f_p \cdot f_{au} \cdot f_{NANC} \cdot f_T}{f_D \cdot f_K} \cdot t \right) \right] \cdot 100, (1)$$

где $E(t)$ – извлечение золота в раствор, %;

K – предельный коэффициент извлечения;

w_0 – коэффициент конвективной диффузии, мм/сут;

$f_p, f_{au}, f_{NaNC}, f_D, f_K, f_T$ – функциональные зависимости извлечения ценного компонента от интенсивности орошения штабеля, содержания золота в руде, содержания цианида в продуктивном растворе, максимального диаметра рудного куска в штабеле, коэффициента фильтрации выщелачивающего раствора, температуры соответственно.

Моделирование процесса выщелачивания золота на месторождении «Дельмачик» проводилось с учетом летнего и зимнего сезонов работы. Значения факторов, принятых для моделирования процесса: крупность руды – 20 мм, содержание золота – 1,5...2,3 г/т; расход цианида – 1,45 кг/т; температура раствора – 20 °С (летнее время), 3 °С (зимнее

время), коэффициент фильтрации – 3 м/сут, интенсивность орошения – 250 л/м² сут.

Результаты исследования. Зависимости извлечения ценного компонента от времени выщелачивания при различных значениях содержания золота и температуры представлены на рис. 6. Как видно из рисунка, кривые извлечения имеют четкую экспоненциальную зависимость, а температура выщелачивания оказывает существенное влияние на максимальное значение извлечения. Также видно, что скорость выхода на асимптоту зависит от содержания золота в руде при прочих равных значениях факторов: в блоках с более высоким содержанием скорость процесса будет выше.

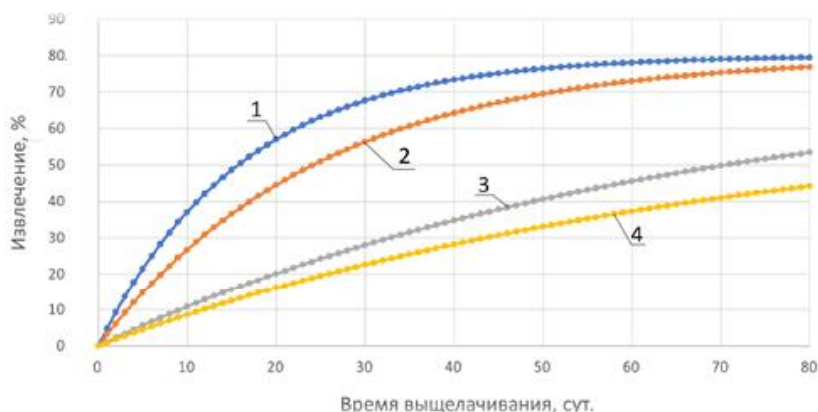


Рис. 6. Зависимости извлечения ценного компонента от времени выщелачивания. Численные значения содержания золота (г/т) и температуры (°С) составляют: 1–2,3; 20; 2 – 1,5; 20; 3 – 2,3; 3; 4 – 1,5; 3 /
Fig. 6. Dependences of the recovery of a valuable component on the leaching time. The numerical values of gold content (g/t) and temperature (°C) are: 1 – 2,3; 20; 2 – 1,5; 20; 3 – 2,3; 3; 4 – 1,5; 3.

Результаты погоризонтного анализа блочной модели при различных температурах и длительности выщелачивания 5, 20 и 60 суток представлены в таблице. По данным таблицы, количество блоков, участвующих в процессе выщелачивания, увеличивается с продолжительностью процесса, что связано с постепенным насыщением штабеля продуктивным раствором. Установлено, что минимальное, максимальное и среднее извлечение в блоке при прочих равных значениях факторов существенно зависят от температуры выщелачивающего раствора и высоты блока над уровнем земли. В отдельных случаях это условие может нарушаться, что может быть связано с неравномерным распределением содержания золота в рудном штабеле.

На рис. 7 представлена визуальная оценка результатов кучного выщелачивания

золота в рудном штабеле. В блочных моделях, построенных при температурах 20 и 3 °С, выбраны блоки, извлечение в которых при времени выщелачивания 60 суток превышает 40 %. Как видно из рис. 7, блочная модель кучного выщелачивания при температуре 3 °С характеризуется низким числом блоков, достигшим извлечения 40 %. Разница удельных объемов руды по сравнению со второй блочной моделью составляет около 60 %. На рисунке показана цветовая дифференциация блоков в зависимости от извлечения ценного компонента: блоки с низким значением окрашены в синие цвета. Таким образом, на основе данного представления появляется возможность избирательно влиять на интенсивность процесса выщелачивания в отдельных участках рудного штабеля.

Показатели извлечения золота в рудном штабеле при различных факторах выщелачивания /
Indicators of gold recovery in an ore stack with different leaching factors

Факторы выщелачивания (температура T, °C, время выщелачивания t, сут) / Leaching factors (temperature T, °C, leaching time t, days)	Объем руды участвующий в процессе выщелачивания, м ³ / The volume of ore involved in the leaching process, m ³			Минимальное извлечения в блоке / Minimum recovery in the block			Максимальное извлечения в блоке / Maximum recovery in the block		
	0-3 м / 0-3 m	3-6 м / 3-6m	6-10 м / 6-10 m	0-3 м / 0-3 m	3-6 м / 3-6m	6-10 м / 6-10 m	0-3 м / 0-3 m	3-6 м / 3-6m	6-10 м / 6-10 m
T = 20, t = 5	7467	18388	7309	3,8	5,6	10,9	6,9	14,2	21,4
T = 20, t = 20	24350	18388	7309	40,0	43,6	46,3	51,7	55,6	57,6
T = 20, t = 60	24350	18388	7309	73,4	74,6	74,4	77,8	78,3	78,3
T = 3, t = 5	7467	18388	7309	0,8	1,1	2,3	1,4	3,0	4,8
T = 3, t = 20	24350	18388	7309	10,4	11,7	12,7	10,4	11,7	12,7
T = 3, t = 60	24350	18388	7309	31,5	33,3	33,0	40,9	42,8	42,8

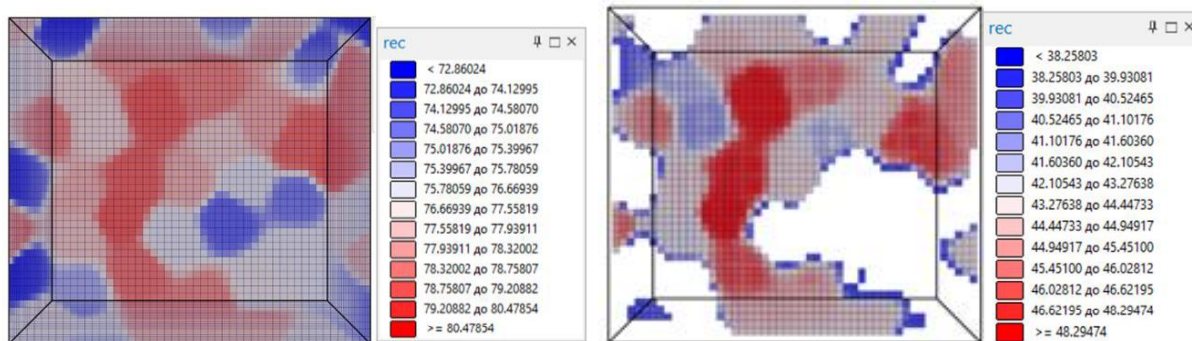


Рис. 7. Блочные модели процесса кучного выщелачивания с выборкой блоков извлечением: более 40 % при температуре 20 °C, более 40 % при температуре 3 °C / Fig. 7. Block models of the heap leaching process, with a sample of blocks with recovery: of more than 40% at a temperature of 20 °C, of more than 40% at a temperature of 3 °C

Выводы.

1. Разработаны метод и методика блочного моделирования, позволяющие обеспечить трехмерную интерпретацию процессов цианидного выщелачивания золота в рудном штабеле с учетом неравномерного распределения ценного компонента золота и факторов, влияющих на эффективность выщелачивания.

2. Трехмерная визуализация рудного штабеля позволяет выявить пространственные участки низкого извлечения золота с учетом особенностей вещественного состава минерального сырья в сформированном штабеле и принимать решения к устранению.

3. Полученные обобщенные данные методом блочного моделирования требуют проведения дальнейшей верификации и корректировки с учетом подтверждения этих данных на практике, в частности на месторождении «Дельмачик».

4. По экспериментальным данным, полученным на пробе техногенного рудного месторождения «Дельмачик», проанализирована разработанная математическая модель блочного моделирования, которая подтверждает экспоненциальную зависимость извлечения золота от времени выщелачивания с учётом содержания золота и температуры окружающей среды.

Список литературы

1. Корбунов А. И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике (избранные главы) // Функционально-аналитические основы. Ухта: УГТУ, 2014. 224 с.
2. Маниковский П. М., Овчаренко Н. В., Наумов А. Н. Геолого-математическое моделирование месторождений как фактор формирования профессиональных компетенций при подготовке современных горных инженеров // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. Чита: ЗабГУ, 2019. С. 24–29.
3. Потапов В. Д., Яризов А. Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности. М.: Высшая школа, 1981. 191 с.
4. Стетьуха В. А. Совершенствование моделей переноса тепла и влаги при оценке воздействий горного производства на породы в условиях Южного Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 10. С. 71–74.
5. Шестернев Д. М., Мязин В. П. Перспективы круглогодичного кучного выщелачивания золота из бедных руд при освоении мелких месторождений криолитозоны Забайкалья // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010. Т. 1. С. 236–241.
6. Шупов Л. П. Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения. М.: Недра, 1980. 288 с.
7. Anderson C. G. Alkaline sulfide gold leaching kinetics // Minerals Engineering. 2016. Vol. 92, pp. 248–256. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.01.009.
8. Kianinia Y., Khaledi M. R., Abdollahy M., Hefter G., Senanayake G., Hnedkovsky L., Darban A. K., Shabdazi M. Predicting cyanide consumption in gold leaching: a kinetic and thermodynamic modeling approach // Minerals. 2018. Vol. 8 P. 110. DOI: 10.33990/min8030110.

References

1. Korbunov A.I. *Funktsionalno-analiticheskiye osnovy* (Functional and analytical foundations), 2014, 224 p.
2. Manikovsky P.M., Ovcharenko N.V., Naumov A.N. *Kulaginskiye chteniya: tehnika i tehnologii proizvodstvennykh protsessov* (Kulagin Readings: Technique and Technology of Production Processes). Chita: ZabGU, 2019, pp. 24–29.
3. Potapov V. D., Yarizov A. D. *Imitatsionnoe modelirovanie proizvodstvennykh protsessov v gornoy promyshlennosti* (Simulation modeling of production processes in the mining industry). Moscow: Higher School, 1981. 191 p.
4. Stetyukha V.A. *Imitatsionnoye modelirovaniye proizvodstvennykh protsessov v gornoy promyshlennosti* (Simulation of production processes in the mining industry), 2004, No 10, pp. 71–74.
5. Shesternev D. M., Myazin V. P. *Fundamentalnye problemy formirovaniya tehnogennoy geosredy* (Fundamental problems of the formation of technogenic geoenvironment). Novosibirsk: IGD SO RAN, 2010. T. 1. P. 236–241.
6. Shupov L. P. *Modelirovaniye i raschet na EVM shem obogashcheniya* (Modeling and computer calculation of enrichment schemes). Moscow: Nedra, 1980, 288 p.
7. Anderson C. G. *Minerals Engineering* (Minerals Engineering), 2016, Vol. 92, pp. 248–256. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.01.009.
8. Kianinia Y., Khaledi M. R., Abdollahy M., Hefter G., Senanayake G., Hnedkovsky L., Darban A. K., Shabdazi M. *Minerals* (Minerals). 2018. Vol. 8 P. 110. DOI: 10.33990/min8030110.

Информация об авторе

Мязин Виктор Петрович, д-р техн. наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых
myazinvpchita@mail.ru

Гончаров Денис Сергеевич, канд. техн. наук, ведущий геолог ООО «Восток геосервис», г. Чита, Россия. Область научных интересов: геоэкология, моделирование процессов обогащения полезных ископаемых, геоинформационные системы
myazinvpchita@mail.ru

Соколова Екатерина Сергеевна, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: кучное выщелачивание.
myazinvpchita@mail.ru

Information about the author

Viktor Myazin, doctor of technical sciences, professor, head of Mineral and Secondary Raw Materials department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineral processing

Denis Goncharov, candidate of technical sciences, leading geologist, «Vostok Geoservice» LLC, Chita, Russia. Research interests: geoecology, modeling of mineral processing processes, geoinformation systems

Ekaterina Sokolova, postgraduate, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: heap leaching

Для цитирования

Мязин В. П., Гончаров Д. С., Соколова Е. С. Математическое моделирование кучного выщелачивания золота в рудном штабеле (на месторождении «Дельмачик») // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 10. С. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-10-6-14.

Myazin V., Goncharov D., Sokolova E. Mathematical modeling of gold heap leaching in an ore stack (at the «Delmachik» deposit) // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 10, pp. 6–14. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-10-6-14.

Статья поступила в редакцию: 13.12.2021 г.

Статья принята к публикации: 23.12.2021 г.