

# ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**В.М. Аленичев<sup>1</sup>, М.В. Аленичев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия,  
e-mail: alenichev@igduran.ru

**Аннотация:** Распределение полезного компонента при формировании техногенного образования зависит от размера порций горной массы, поступающей на отвал, порядка размещения отдельных слоев и трудно предсказуемой сегрегации при формировании кластерных зон по фракционному составу и содержанию полезного компонента. Задача прогнозирования качественных признаков на все пространство техногенного месторождения с использованием дискретных данных, полученных по отдельным точкам опробования, имеет первостепенное значение. Достоверность результатов горно-геометрических расчетов на подобных объектах зависит от распределения полезного компонента в природном месторождении, параметров разведочной сети, принятой при изучении техногенного образования, объема и геометрии проб, а также технологических факторов. Эффективное средство анализа изменения свойств геологического объекта — использование геостатистики, позволяющей при привлечении дополнительных характеристик выделить закономерную и случайную составляющие изменчивости и спрогнозировать внутреннюю структуру за счет выявления автокорреляционных связей между отдельными пробами по заданным направлениям. Обоснован и разработан алгоритм моделирования распределения содержания полезного компонента в техногенном месторождении, учитывающий геометрию расположения проб, параметры регулярной сетки, интервал корреляции геоданных по каждому заданному профилю, число геологических проб в интервале связности и среднеквадратичную погрешность признака по профилю, по которым формируется блочная модель техногенного образования.

**Ключевые слова:** достоверность, геоинформационное обеспечение, техногенное образование, дискретные геологические данные, прогнозирование, регулярная сеть, корреляция геоданных, профиль, блочная модель техногенного месторождения.

**Для цитирования:** Аленичев В. М., Аленичев М. В. Повышение достоверности геоинформационного обеспечения при отработке техногенных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 172–179. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-172-179.

## Increasing validity of geoinformation support in mining waste management

**V.M. Alenichev<sup>1</sup>, M.V. Alenichev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia,  
e-mail: alenichev@igduran.ru

---

**Abstract:** Distribution of useful component in mining waste depends on dirt rock portion to be dumped, sequence of layering and unpredictable segregation in cluster zones by fraction composition and content of the useful component. It is of the prime importance to learn to predict quality characteristics in the whole volume of a man-made mineral deposit using discrete data from separate sampling points. Validity of the results depends on distribution of useful component in a natural deposit, exploration pattern parameters assumed in the man-made deposit survey, volume and geometry of samples as well as on technological factors. An efficient approach to the analysis of properties of a geological object is using geostatistics, which, with additional characteristics involved, allows identifying regular and random components of variability and predicting internal structure by means of detection of autocorrelations between separate samples in the preset directions. The algorithm is developed and validated for modeling distribution of useful component in a man-made deposit, including geometry of sampling arrangement, regular mesh parameters, correlation interval of geodata in each preset profile, number of geological samples in the connectivity interval and root-mean-square error per profile, to form a blocky model of a man-made deposit.

**Key words:** validity, geoinformation support, man-made mineral deposit, discrete geological data, prediction, regular mesh, geodata correlation, profile, blocky model of man-made mineral deposit.

**For citation:** Alenichev V. M., Alenichev M. V. Increasing validity of geoinformation support in mining waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(11):172-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-172-179.

---

## Введение

Необходимость комплексного освоения недр и естественная потребность предприятия в расширении минерально-сырьевой базы ставят задачу усовершенствования теоретических и методологических положений по моделированию геологических объектов. При этом уточнение информации о пространственном распределении основных и сопутствующих компонентов, их физических и технологических свойствах, как в недрах, так и в отвалах, позволит совершенствовать технологии отработки месторождений, процессы первичной и вторичной переработки минерального сырья, решать вопросы альтернативного использования отходов производства. Общеизвестно, что оптимизация недропользования базируется на многовариантных технологических и технических решениях, принимаемых на основе геоинформационной модели геотехногенной структуры, включающей модель месторождения и связанные с ним техногенные образования (карьер, шахта, отвал и т.п.), образующих при разработке единую систему

элементов, взаимодействующих и согласованно изменяющихся во времени и пространстве. Информационным фундаментом любой геотехногенной структуры являются геоданные, адекватно отражающие горно-геологические условия. Поэтому задача прогнозирования дискретных данных, полученных по отдельным точкам опробования, на все пространство геологического объекта и техногенного образования имеет первостепенное значение.

## Описание методов анализа

Горно-геологическая информация о месторождении, изучаемая по разоб-щенным и ограниченным по размерам пробам, характеризуется некоторой неопределенностью, обусловленной внутренней неоднородностью строения, неравномерным пространственным распределением минералогических, текстурных, физико-механических и других свойств полезного ископаемого и вмещающих пород [1–3].

Достоверность геологической информации определяется как объективными,

так и субъективными факторами. Первые зависят от природной изменчивости параметров и показателей в пространстве месторождения. Вторые обусловлены принятыми схемами наблюдений, анализа и изучения (плотность разведочной сети и опробования, размеры и форма проб). Достоверность результатов горно-геометрических расчетов при планировании горных работ зависит от трех факторов: природных, разведочных и технологических (интенсивность развития работ, параметры системы разработки и ее элементов, размеры выемочных блоков) [4–6].

К настоящему времени предложено несколько показателей изменчивости геометрических особенностей строения залежей: коэффициент рудоносности, коэффициент прерывистости, коэффициент сложности строения и другие [1, 2, 7–9]. Следует отметить, что создание универсальной характеристики изменчивости, отражающей возможные значения параметров и показателей в пространстве месторождения, практически не возможно [5, 8].

При некоторых допущениях связь изменчивости с вероятной ошибкой определения геологических параметров (свойств) устанавливается при использовании математической статистики и теории случайных функций.

Случайная функция  $F(l)$  является стационарной при условии, если все вероятностные характеристики ее не зависят от расстояния сдвига  $l$ , т.е. не изменяются при различных перемещениях аргумента вдоль профиля  $L$ . Стационарная случайная функция характеризуется постоянством математического ожидания и дисперсии, а также зависимостью ее корреляционной функции только от одного аргумента — расстояния  $r$  между первым и вторым аргументами:  $K_x(l+r) = K_x(r)$ . В общем виде корреляционная функция стационарной случайной функ-

ции представляется корреляционным моментом последовательных сечений случайной функции и отражает степень связи между ними в зависимости от аргумента  $l$ .

### **Методика проведения исследований**

В наибольшей степени оценке достоверности геоданных на базе пространственных переменных отвечают методы прикладной геостатистики, в основе которых лежит понятие неслучайной пространственной переменной, отражающей уровень природной изменчивости количественных и качественных параметров и показателей, тесно связанных с геометрическим полем залежи. Точность оценивания при этом зависит от нескольких факторов: количества проб и их значений, расположения проб по месторождению (важна равномерность мест опробования), расстояния между пробами и точкой в середине оцениваемого блока, наличия пространственной непрерывности изучаемой переменной. При оценке достаточно однородного участка залежи оценки могут быть точными. Независимо от метода интерполяции на неоднородном участке точность прогноза будет снижаться.

В последнее время теоретические основы прогнозирования содержания полезного компонента в рудных залежах базируются на прикладной геостатистике.

Складирование вмещающих пород при разработке россыпей зависит от технологии, направления развития и интенсивности горных работ, размера поступающих на отвал порций и порядка их размещения. Процесс размещения вмещающих пород в отвале, к сожалению, недропользователем до настоящего времени не регламентируется, поэтому в большинстве случаев характер распределения содержания полезного компонента в техногенном месторождении

(отвале) является весьма хаотичным [10–13].

Для определения содержания полезного компонента в теле отвала бурятся разведочные скважины, проходятся шурфы и другие горные выработки. По результатам опробования этих объектов принимается решение перевести данное техногенное образование в отвал пустых пород и рассматривать его в качестве техногенного месторождения [1, 8, 12, 14–16]. Распределение содержания полезного компонента в пространстве техногенного образования, как установлено авторами, зависит от многих факторов, характеризующихся случайными процессами и явлениями:

- порядок и порции поступления вмещающих пород, характеризующихся различным составом и качественными свойствами;
- способ размещения отдельных слоев и формирования отвала;
- трудно предсказуемая сегрегация складируемых пород и драгоценных металлов при формировании кластерных зон по фракционному составу и содержанию полезного компонента.

Методика прогнозирования распределения содержания полезного компонента в пространстве техногенного образования, основанная на использовании вероятностно-статистических методов, наиболее объективно учитывающих вышеуказанные процессы, позволит создать геоинформационное обеспечение отвала и провести технико-экономическую оценку целесообразности их отработки.

При компьютерной оценке техногенного образования в первую очередь необходимо для каждой «элементарной» зоны (объема) выявить пространственные взаимосвязи (генетические радиусы) содержаний полезного компонента по различным направлениям с применением вероятностно-статистических методов. Процедура вычислений включает

ся в разбиении всей поверхности (площади) отвала на «элементарные» ячейки с заданным шагом и назначении различных «профилей». Число «профилей» и ориентация их задается пользователем на плане поверхности отвала с учетом содержания полезного компонента по точкам опробования. Ширина профиля, включающая «элементарную» ячейку, принимается равной размеру разведочной сетки, принятой при геологическом опробовании техногенного образования.

Прогнозирование распределения содержания золота на трех отвалах, сформированных при разработке золотоносного месторождения реки Винновка. Содержание золота в отвале определялось ручными расчетами по результатам валового опробования.

Алгоритм моделирования распределения содержания полезного ископаемого в техногенном месторождении (отвале) с учетом пространственной связи геоданных и построения 2D и 3D карт представлен на рисунке и включает следующие блоки.

Блок 1. Ввод пространственных и атрибутивных данных о техногенном образовании по результатам геологического опробования техногенного образования.

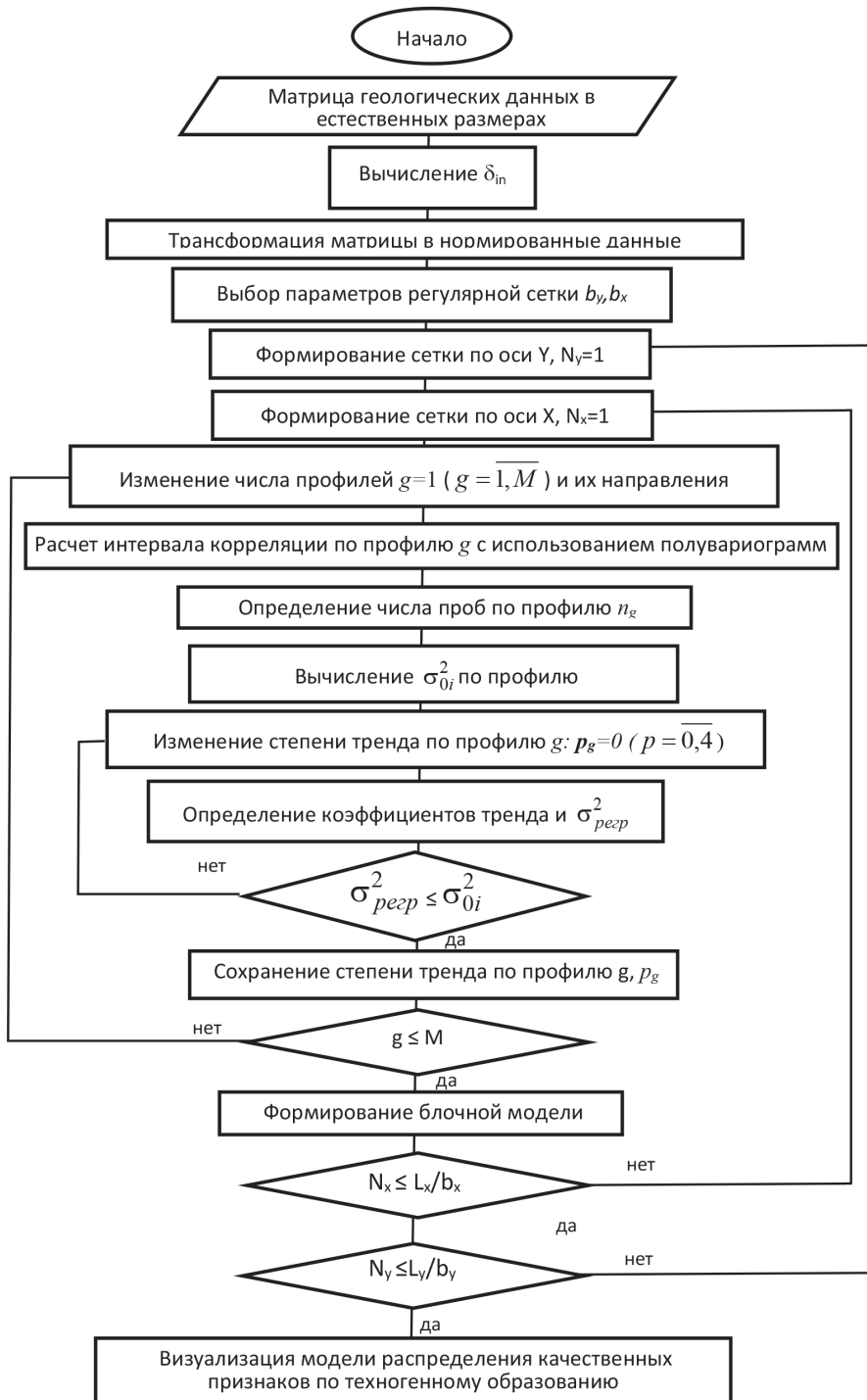
Блок 2. Рассчитывается безразмерный параметр для последующей трансформации матрицы исходных данных в естественных размерах.

Блок 3. Исходная матрица трансформируется в нормированные данные. При проведении преобразований формируется матрица профильных центрально нормируемых параметров.

Блок 4. Задаются параметры регулярной сетки по координатным осям  $U$  и  $X$ .

Блок 5. Обеспечивает и контролирует проведение расчетов в границах техногенного образования по оси  $U$ .

Блок 6. Обеспечивает и контролирует проведение расчетов в границах техногенного образования по оси  $X$ .



Алгоритм моделирования техногенного образования  
 Man-made mineral deposit modeling algorithm

Блок 7. Задаются число профилей и их направление. Все профили проходят через анализируемую точку (ячейку) и представляются в виде полос заданной ширины.

Блок 8. Рассчитывается интервал корреляции геоданных по распределению значений коэффициентов автокорреляции с использованием вариограмм.

Блок 9. Определяется число геологических проб в интервале связности по каждому заданному профилю.

Блок 10. Определяется среднеквадратичная погрешность признака по профилю.

Блок 11. Задается максимально возможная степень тренда по профилям.

Блок 12. Вычисляются коэффициенты тренда и рассчитывается его среднеквадратичная погрешность.

Блок 13. Производится сравнение среднеквадратичной погрешности признака по профилю со среднеквадратичной погрешностью по тренду степени  $n$ .

Блок 14. Запоминается степень тренда по анализируемым профилям.

Блок 15. Проверяется условие проведения анализа по всем заданным профилям.

Блок 16. Формируется блочная модель техногенного образования.

Блок 17. Проверяется условие анализа всех ячеек (точек) по оси  $X$ .

Блок 18. Проверяется условие анализа всех ячеек (точек) по оси  $Y$ .

Формирование качественного погоризонтного плана производится путем расчета содержаний золота во всех ячейках регулярной сетки в границах, определяемых сетью разведочных шурфов и подробно рассмотрены в работе [8].

### Заключение

Одним из способов повышения точности прогнозирования содержания полезного компонента в техногенных образованиях является использование матричных корреляционных функций, построенных по различным направлениям и отражающих специфику формирования отвала с учетом процесса сегрегации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загибалов А. В. Обоснование принципов моделирования пространственной концентрации золота в россыпных месторождениях // Маркшейдерия и недропользование. — 2010. — № 3 (47). — С. 57–60.
2. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Сабянин Г. В. Методология определения сложности структуры рудных месторождений как объекта разработки // ФТПРПИ. — 2012. — № 6. — С. 75–86.
3. Кочергин А. М. Стоимость — универсальный критерий оценки запасов при построении современной национальной классификации запасов // Недропользование XXI век. — 2015. — № 5 (55). — С. 146–155.
4. Аленичев В. М., Суханов В. И., Хохряков В. С. Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов (горное производство). — Екатеринбург: УрО РАН, 1998. — 165 с.
5. Корнилков С. В., Аленичев В. М., Лаптев Ю. В., Яковлев А. М. Прогноз качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 10–15.
6. Msrk Altaweel. GIS and Underground Mining. GIS Industry. July 1, 2016.
7. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2-х кн. / Под ред. Д. А. Родионова. — М.: Недра, 1990, Кн. 1. — 319 с.; Кн. 2. — 427 с.
8. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики / Пер. с франц. — М., 1960. — 408 с.
9. Armstrong M. Basic linear geostatistics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1998. 149 p.
10. Аленичев В. М., Аленичев М. В., Уманский А. Б. Учет пространственной связи геоданных при создании моделей россыпей // Недропользование XXI век. — 2015. — № 2 (52). — С. 24–31.



11. Moridi Mohammad Ali, Youhei Kawamura, Mostafa Sharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, Hirokazu Okawa Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBee and GIS // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015, 25 (5). Pp. 811–818.
12. Khalil A., Hanich L., Hakkou R., Lepage Michel GIS-based environmental database for assessing the mine pollution : a case study of an abandoned mine site in Morocco // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014, 144 (SI), Pp. 468–477.
13. Морозов Ю. П. Анализ гравитационного разделения минералов в стесненных условиях движения // *Известия вузов. Горный журнал*. — 2011. — № 4. — С. 93–98.
14. Jakub Sisak. The Impact of GIS in Mine Development / *GISP*. 14 2017, April 12.
15. Oy Leuangthong, K. Daniel Khan, Clayton V. Deutsc. *Solved Problems in Geostatistics*. Wiley, 2008. 208 p.
16. Monestiez Pascal, Allard Denis, Froidevaux Roland *GeoENV III — Geostatistics for Environmental Applications*. New York: Springer, 2001. 555 p. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Zagibalov A. V. Substantiation of the principles of modeling the spatial concentration of gold in placer deposits. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2010, no 3 (47), pp. 57–60. [In Russ].
2. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P., Sabyanin G. V. Evaluation methodology for structural complexity of ore have been discovered in deposits as the object of development. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2012, no 6, pp. 75–86. [In Russ].
3. Kochergin A. M. Cost is the universal criterion of evaluation of reserves in the construction of modern national classification of reserves. *Nedropol'zovanie XXI vek*. 2015, no 5 (55), pp. 146–155. [In Russ].
4. Alenichev V. M. Sukhanov V. I., Khokhryakov V. S. *Modelirovanie prirodno-syr'evykh tekhnologicheskikh kompleksov (gornoe proizvodstvo)* [Modeling of natural-raw technological complexes (mining) ], Ekaterinburg, UrO RAN, 1998, 165 p.
5. Kornilkov S. V., Alenichev V. M., Laptev Yu. V., Yakovlev A. M. Forecast of quality indicators of extracted raw materials on the basis of geoinformation technologies. *Gornyy zhurnal*. 2017, no 12, pp. 10–15. [In Russ].
6. Msrk Altaweel. GIS and Underground Mining. *GIS Industry*. July 1, 2016.
7. Devis Dzh. S. *Statisticheskyy analiz dannykh v geologii*: Per. s angl. V 2-kh kn. Pod red. D. A. Rodionova [Statistical analysis of data in Geology: English–Russian translation. In 2 books. Rodionov D. A. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1990, book 1, 319 p.; book 2, 427 p.
8. Matheron Zh. *Osnovy prikladnoy geostatistiki*. Per. s frants. [Fundamentals of applied geostatistics. English–Franch translation], Moscow, 1960, 408 p.
9. Armstron M. *Basic linear geostatistics*. Berlin, Heidelberg. New York: Springer, 1998. 149 p.
10. Alenichev V. M., Alenichev M. V., Umanskiy A. B. Account the spatial context of GEODATA models Rossy-Pei. *Nedropol'zovanie XXI vek*. 2015, no 2 (52), pp. 24–31. [In Russ].
11. Moridi Mohammad Ali, Youhei Kawamura, Mostafa Sharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, Hirokazu Okawa Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015, 25 (5). Pp. 811–818.
12. Khalil A., Hanich L., Hakkou R., Lepage Michel GIS-based environmental database for assessing the mine pollution : a case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014, 144 (SI), Pp. 468–477.
13. Морозов Ю. П. Analysis of gravity separation of minerals in cramped driving conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2011, no 4, pp. 93–98. [In Russ].
14. Jakub Sisak. The Impact of GIS in Mine Development / *GISP*. 14 2017, April 12.
15. Oy Leuangthong, K. Daniel Khan, Clayton V. Deutsc. *Solved Problems in Geostatistics*. Wiley, 2008. 208 p.
16. Monestiez Pascal, Allard Denis, Froidevaux Roland *GeoENV III — Geostatistics for Environmental Applications*. New York: Springer, 2001. 555 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аленичев Виктор Михайлович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор,  
главный научный сотрудник, e-mail: alenichev@igduran.ru,  
Аленичев Михаил Викторович<sup>1</sup> — соискатель, e-mail: alenichev@mail.ru,  
<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН.  
Для контактов: Аленичев В.М., e-mail: alenichev@igduran.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.M. Alenichev<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Chief Researcher, e-mail: alenichev@igduran.ru,  
M.V. Alenichev<sup>1</sup>, Applicant, e-mail: alenichev@mail.ru,  
<sup>1</sup> Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,  
620075, Ekaterinburg, Russia.  
Corresponding author: V.M. Alenichev, e-mail: alenichev@igduran.ru.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТА С ПОМОЩЬЮ ИННОВАЦИОННЫХ РЕАКТОРОВ В ТЕХНОЛОГИИ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

(2019, СВ 27, 12 с., DOI: 10.25018/0236-1493-2019-7-27-3-9)

Чекушина Татьяна Владимировна<sup>1</sup> — д-р экон. наук, канд. техн. наук, доцент, e-mail: tanija\_ch@mail.ru,  
Янкевский Алексей Владимирович<sup>1</sup> — канд. экон. наук, доцент, e-mail: yankevsky@gmail.com,  
Кулибали Мусса<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: mouskoul88@mail.ru,  
Хаба Этьен<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: habatino@mail.ru; <sup>1</sup> Российский университет дружбы народов.

При рассмотрении перспектив повышения эффективности получения золота из бедных руд, были использованы инновационные реакторы цианирования в технологии кучного выщелачивания золота. Несмотря на опасное воздействие на окружающую среду и здоровье человека при работе с цианидом, данный процесс превалирует при промышленном извлечении золота, поэтому повышение эффективности обработки из забалансовых и техногенных отходов является основным решением технологической проблемы получения золота из данных видов низкосортных руд. Глобальная тенденция в горнодобывающей промышленности в целом, и в добыче золота в частности, заключается в том, что производство металлов неизменно растёт, но рудные сорта и доступность ресурсов неуклонно снижаются, в том числе и в Республике Гвинея.

Ключевые слова: золото, руда, реактор, инновационные технологии, повышение эффективности цианирования, добыча золота, экономика, физико-химические свойства, реактор, Сигири, Республика Гвинея.

### PROSPECTS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE CYANIDATION OF GOLD WITH HELP OF INNOVATIVE REACTORS IN THE TECHNOLOGY OF HEAP LEACHING

T.V. Chekushina<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: tanija\_ch@mail.ru,  
A.V. Yankevsky<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor, e-mail: yankevsky@gmail.com,  
Koulibaly Moussa<sup>1</sup>, Graduate Student, *Haba Etienne*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: habatino@mail.ru,  
<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 113093, Moscow, Russia.

Prospects for increasing the efficiency of the cyanidation of gold with the help of innovative reactors in the technology of heap leaching. When considering the prospects of improving the efficiency of obtaining gold from poor ores, innovative cyanidation reactors were used in the technology of heap leaching of gold. Despite the dangerous impact on the environment and human health when working with cyanide, this process prevails in the industrial extraction of gold, so the increase in the efficiency of processing from off-balance sheet and man-made waste is the main solution to the technological problem of obtaining gold from these types of low-grade ores. The global trend in the mining industry in General, and in gold mining in particular, is that metal production is steadily increasing, but ore grades and resource availability are steadily declining, including in the Republic of Guinea.

Key words: Gold, ore, reactor, innovative technologies, increase of efficiency of cyanidation, gold mining, economy, Physical and chemical properties, reactor, Sigiri, Republic of Guinea.