

РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РУДНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ НЕКОНДИЦИОННЫХ РУД

*А.Ю. Чебан, Н.М. Литвинова, Р.В. Богомяков, М.С. Кирилчук,
Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия*

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по распределению содержания металлов по фракциям во взорванных некондиционных рудах и минерализованных вмещающих породах. Установлено, что в исследуемых пробах наблюдается концентрация полезных компонентов в мелких фракциях. Показано, что обогащенные мелкие фракции с содержанием полезного компонента выше минимально-промышленного могут быть отделены с применением грохочения и направлены на кучное выщелачивание совместно с кондиционными бедными рудами. Результаты исследований могут быть использованы для обоснования возможности совершенствования ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: мелкие фракции некондиционных руд, исследование проб, содержание полезных компонентов, распределение золота и меди, ресурсосберегающие технологии.

EXPANDING THE RAW MATERIAL BASE OF MINES THROUGH THE CONCENTRATION OF SMALL FRACTIONS OF SUB-CONDITIONAL ORES

*A.Yu. Cheban, N.M. Litvinova, R.V. Bogomyakov, M.S. Kirilchuk,
Mining institute the Far Eastern branch of Russian academy of sciences, Khabarovsk, Russia*

Abstract: The article presents the results of studies on the distribution of metal content by fractions in exploded substandard ores and mineralized host rocks. It has been established that in the studied samples there is a concentration of useful components in small fractions. It is shown that enriched fine fractions with a content of a useful component above the minimum industrial value can be separated using screening and sent for heap leaching together with conditioned poor ores. The research results can be used to substantiate the possibility of improving resource-saving technologies.

Keywords: fine fractions of substandard ores, research of samples, content of useful components, distribution of gold and copper, resource-saving technologies.

В настоящее время при освоении месторождений руд цветных и благородных металлов преобладает способ открытой разработки. С увеличением глубины карьеров образуется больше количество техногенных отходов в виде вскрышных пород и некондиционного сырья, суммарный объем которых может достигать 80-90% всей извлекаемой из недр горной массы [1-4]. Например, на карьере Мурунтау (Узбекистан) распределение объемов вскрышных пород, минерализованной массы и руды по различным зонам составляет 30,6-85,5%, 1,7-37,1%, 12,8-38,2% соответственно [5].

Ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений предопределяют необходимость развития технологий добычи и обогащения минерального сырья, а также совершенствования горного оборудования [6-9]. В связи с перманентным снижением содержаний металлов в добываемых рудах все больший интерес начинают представлять ранее сформированные отвалы некондиционных руд и хвостов обогащения, вовлечение которых в переработку является важной задачей горного производства [10]. Так, при разработке месторождения Мурун-

тау, первоначально к забалансовым относили руды с содержанием золота 1,5-2,5 г/т, которые транспортировали на склады некондиционной руды, в частности, на склад № 2 руды с содержанием 2,0-2,5 г/т, а на склад № 3 — с содержанием 1,5-2,0 г/т. Затем стали выделять в отдельный грузопоток некондиционную руду с содержанием от 1,0 до 1,5 г/т, направляемую на склад №4 [11].

В настоящее время на месторождении Мурунтау на переработку с применением метода кучного выщелачивания направляется рудная масса с содержанием более 0,5 г/т, при этом рассматривается вариант вовлечения в переработку минерализованных вмещающих пород с содержанием золота 0,25-0,5 г/т, что позволит увеличить выход руды с 28 до 60% при снижении среднего содержания на 18 % с одновременным ростом количества извлекаемого золота на 14% [1]. Подготовлен проект по вторичной переработке хвостов кучного выщелачивания с планируемым уровнем извлечения золота 60%.

Повысить качество минерального сырья, подаваемого на переработку, возможно за счет применения предварительного обогащения, заключающегося в проведении покус-

ковой и порционной сортировки материала с удалением пустых и некондиционных включений. Во многих случаях разделять кондиционную и некондиционную части рудной массы возможно с применением эффекта гранулометрической сегрегации, который особенно проявляется в условиях отработки месторождений вкрапленных руд, где существует контрастность физико-механических характеристик в массиве руд и вмещающих пород [12].

В процессе горных работ в штабелях и бункерах происходит сегрегация богатой металлом мелочи от остальной руды. Этот эффект объясняется тем, что руда, будучи более хрупкой, чем вмещающие породы, дробится на менее крупные куски, частично превращаясь в мелочь, содержащую наиболее крупный процент металла, а крупные, в основном породные куски, скатываются в периферийную часть насыпи, а мелкие остаются в верхней ее зоне [13].

В обогащенной рудной мелочи может содержаться основная часть металла. Так, проведенные исследования забалансовой руды забойной крупности месторождения Джилау (Таджикистан) показали, что фракция -13 мм составляющая 27,51% по массе содержит 55,31% золота, в том числе в 19,77% рудного отсева размером -8мм содержится 41,76% металла [14]. При переработке данной руды методом кучного выщелачивания максимальное извлечение металла получается именно из мелких фракций.

Исследование медной руды Коунрадского месторождения (Казахстан) показало, что при среднем содержании меди в руде 0,46% обогащенная мелкая фракция -5 мм имеет содержание 0,61%. Таким образом, при массовой доле 9,73% обогащенная мелкая фракция содержит 12,89% металла [15].

Исследование технологической пробы бедной руды одного из месторождений вольфрама Приморского края выявило, что при среднем содержании полезного компонента в исходной руде 0,24% в рудном отсеке -5 мм содержание металла составило 0,45%, что в 2,2 раза больше среднего содержания классов -100+5 мм [16].

Технологические пробы свинцово-цинковой руды забойной крупности месторождения Учкулач (Узбекистан) показали, что в руде, доставленной из забоя без перевалок, отчетливо прослеживается тенденция обогащения свинцом мелких классов, что позволяет непосредственно на стадии грохочения, выделять мелкий класс -25 мм и направлять его в концентрат, как содержащий свинца в 2-3 раза больше, чем руды классов +25 мм [17]. Таким образом, образование обогащенной рудной мелочи характерно как для кондиционных, так и для забалансовых руд.

В настоящее время накопленный опыт освоения технологических минеральных образований касается в основном складских запасов забалансовой руды, а отвалы вскрышных и минерализованных вмещающих пород с относительно невысоким содержанием полезных компонентов не рассматриваются как перспективные запасы и формируются без учета их возможной переработки в будущем.

Цель работы: определение содержаний полезных компонентов в зависимости от крупности фракций минерализованных вмещающих пород и некондиционных руд для оценки возможности и целесообразности выделения и переработки отдельных фракций с повышенным содержанием полезного компонента.

Методика исследований

Экспериментальные исследования проводились в Центре коллективного пользования Института горного дела ДВО РАН с использованием минерализованных вмещающих пород одного из золоторудных месторождений и некондиционных руд одного из медно-золоторудных месторождений Дальнего Востока. Породы и руда забойной крупности были разделены на фракции с определением массы каждой из фракций, после чего было проведено дробление каждой из фракций до размера -2 мм на щековой дробилке. Образцы полученного материала были отправлены на аналитические исследования, в ходе которых были проведены:

- ✦ предварительная оценка исходных материалов с применением рентгенфлуоресцентного метода (рентген флуоресцентный анализатор Mobilab X-50) и спектрального анализа методом просыпки V категории точности (атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр "Гранд");
- ✦ количественный анализ на золото проводился пламенным атомно-абсорбционным методом после экстракции изоамиловым спиртом, методика НСАМ – 131-С, 130-С (спектрофотометр АА-7000);
- ✦ количественный анализ на содержание меди выполнялось атомно-абсорбционным методом, методика НСАМ № 155-ХС-1 (спектрофотометр АА-7000).

Результаты исследований

В табл. 1 представлены результаты химического анализа проб минерализованных вмещающих пород золоторудного месторождения, выполненного с применением атомно-абсорбционного метода.

Таблица 1 / Table 1

Содержание золота во фракциях минерализованных вмещающих пород / Gold content in fractions of mineralized host rocks.

Фракция, мм / Fraction, mm	Масса, % / Weight, %	Содержание металла, у.е. / Metal content, c.u.	Доля металла, % / Share of metal, %	Коэффициент обогащения / Enrichment facto
+100	33,4	<0,050	35,3	0,53
-100+50	19,1	<0,050		
-50+25	12,4	<0,050		
-25+10	12,2	0,070	11,5	0,93
-10+5	10,4	0,120	16,7	1,60
-5+2	4,9	0,155	10,3	2,07
-2	7,6	0,255	26,4	3,40
Итого / Total	100,0	0,075	100,0	1,00

Анализ показал, что мелкие фракции горной массы существенно обогащены полезным компонентом. Так, при среднем содержании золота в отобранных пробах минерализованных вмещающих пород равном 0,075 у.е., среднее содержание золота во фракциях размером менее 5 мм составляет 0,217 у.е., таким образом, в 12,5 % объема горной массы находится 36,5 % содержащегося в ней золота, что позволяет рентабельно перерабатывать такое сырье с применением метода кучного выщелачивания совместно с бедными рудами месторождения после предварительного окомкования тонких классов размером менее 2 мм для уменьшения явления коагуляции [6].

Увеличение мощности горнодобывающего и транспортного оборудования, совершенствование технологий переработки минерального сырья, рост цен на металлы позволяет вовлекать в переработку руды с более низким содержанием полезного компонента. Так исследования [6] показывают, что в настоящее время в некоторых случаях при обеспечении крупных объемов переработки рудной массы минимальное промышленное содержание меди в руде, направляемой на обогатительную фабрику, может составлять 0,2%, а применение технологии кучного выщелачивания позволяет рентабельно перерабатывать особо бедные руды с содержанием меди 0,1-0,2%. В табл. 2 представлены результаты анализа по определению содержания меди в некондиционных рудах одного из Дальневосточных медно-золоторудных месторождений со средним содержанием меди менее 0,1%. Анализ показал, что мелкие фракции горной массы обогащены полезным компонентом. Так при среднем содержании меди в некондиционной руде равном 0,09%, среднее содержание меди во фракциях размером менее 10 мм составляет 0,13%, таким образом в 15,9 % объема руды находится 22,9% содержащейся в ней меди.

Таблица 2 / Table 2

Содержание меди во фракциях некондиционной руды /Copper content in substandard ore fractions.

Фракция, мм / Fraction, mm	Масса, % / Weight, %	Содержание металла, у.е. / Metal content, c.u.	Доля металла, % / Share of metal, %	Коэффициент обогащения / Enrichment facto
+100	45,7	0,076	38,5	0,84
-100+50	17,2	0,091	17,2	1,01
-50+25	11,2	0,090	11,2	1,00
-25+10	10,0	0,092	10,2	1,02
-10+5	6,7	0,106	7,9	1,18
-5+2	3,1	0,115	4,0	1,28
-2	6,1	0,163	11,0	1,81
Итого / Total	100,0	0,090	100,0	1,00

Проведенный атомно-абсорбционный анализ показал наличие в тонкой фракции -2 мм относительно высокого содержания золота равного 0,87 у.е. при среднем содержании золота по некондиционной руде 0,07 у.е. Из некондиционной руды перед складированием целесообразно путем грохочения выделять фракцию -10 мм. Посредством тонкого грохочения возможно разделить рудную мелочь на тонкий класс -2 мм и мелкий класс -10+2 мм. Тонкий класс некондиционной руды с относительно высоким содержанием золота на-

правляется на кюветное выщелачивание, обеспечивающее эффективное извлечение полезных компонентов из тонких и шламированных фракций рудной массы. Мелкий класс некондиционной руды -10+2 мм направляется на кучное выщелачивание совместно с бедной медной рудой. По данным экспериментальных исследований [6] извлечение золота и меди при кучном выщелачивании может достигать 70-80%, а извлечение золота при кюветном выщелачивании 80-85% [18].

Для извлечения металлов посредством кучного выщелачивания окисленных руд могут быть использованы стандартные растворы: для меди – сернокислотный, для золота (после отмывки) – цианидный [19]. Для извлечения меди и золота из мелких фракций с повышенным содержанием сульфидных минералов первичных руд должны быть использованы специальные растворы, обеспечивающие их окисление [20].

Заключение

Экспериментальные исследования показали наличие в минерализованных вмещающих породах и некондиционных рудах мелких фракций, обогащенных полезными компонентами с содержаниями выше минимально-промышленных. Обогащенные мелкие фракции могут быть выделены из горной массы путем грохочения и направлены на переработку совместно с бедными рудами с применением кучного выщелачивания.

Вовлечение в переработку мелких фракций техногенных отходов позволит уменьшить потери ценных металлов и водную миграцию сопутствующих им токсичных для биоты компонентов с атмосферными осадками, а также обеспечит сокращение пыления отвалов, что в целом снизит отрицательное воздействие горных работ на окружающую среду.

Выводы

1. Приведены результаты исследований по распределению содержания металлов по фракциям во взорванных некондиционных рудах и минерализованных вмещающих породах. Установлено, что во фракциях -10 мм содержание полезных компонентов выше минимально-промышленных.

2. Показано, что обогащенная рудная мелочь может быть отделена с применением грохочения и направлена на переработку совместно с бедными рудами с применением кучного выщелачивания.

3. Предложено осуществлять выделение мелких фракций в процессе формирования отвалов на рассмотренных золоторудном и медно-золоторудном месторождениях посредством грохочения.

4. Целесообразно провести аналогичные исследования на месторождениях цветных и благородных металлов других формационных типов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Снитка Н.П., Наимова Р.Ш. Направления комплексного использования техногенных ресурсов при открытой разработке месторождения Мурунтау // Горный журнал. 2018. № 9. С. 57-61.
2. Галимов И.Р., Данильченко Л.М., Макавецкас А.Р. Комплексная утилизация горнопромышленных отходов // Рациональное освоение недр. 2015. № 5-6. С. 108-115.
3. Afum B. O., Ben-Awuah E., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming framework for optimising the extraction strategy of open pit - underground mining options and transitions // International Journal of Mining Reclamation and Environment. 2019. Vol. 34. No. 10. P. 700-724.
4. LaRoche-Boisvert M., Dimitrakopoulos R. An Application of Simultaneous Stochastic Optimization at a Large Open-Pit Gold Mining Complex under Supply Uncertainty // Minerals. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 172-177.
5. Йулдошев У.У. Открыто-подземное вскрытие глубоких горизонтов карьера «Мурунтау» // Горный журнал. 2018. № 9. С. 33-37.

6. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit // Minerals. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 1-11.
7. Чебан А.Ю., Рассказов И.Ю., Литвинцев В.С. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области // Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 2 (58). С. 41-50.
8. Хакулов В.А., Крапивский Е.И., Блаев Б.Х., Шаповалов В.А. Технология формирования качества руд Тырнауэского месторождения с использованием предварительной сортировки и обогащения // Обогащение руд. 2018. № 5. С. 33-39.
9. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. № 1. С. 20-22.
10. Golik V.I., Dmitrak Y.V., Razorenov Y.I., Maslennikov S.A., Lyashenko V.I. Mechanochemical technology for iron extraction from ore-dressing tailings // Steel in Translation. 2021. T. 51. № 4. С. 241-248.
11. Кустов А.М., Иноземцев С.Б., Беленко А.П. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золотодобычи на комбинате // Горный журнал. 2003. № 8. С. 18-25.
12. Чебан А.Ю. Способ выемки взорванной горной массы экскаватором при разработке сложноструктурных месторождений // Маркшейдерский вестник. 2020. № 2. С. 66-70.
13. Туртыгина Н.А. Изучение эффекта гранулометрической сегрегации при добыче вкрапленных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 1. С. 25-28.
14. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Бобохонов Б.А. Полупромышленные испытания отвального выщелачивания забалансовой руды месторождения Джиллау // Золото и технологии. 2013. № 3. С. 54-57.
15. Халезов Б.Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд. - Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013.- 332 с.
16. Саматова Л.А., Шепета Е.Д. Комбинированные технологии переработки бедных, забалансовых вольфрамовых руд и отвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № S4. С. 187-199.
17. Санакулов К.С., Руднев С.В., Канцель А.В. О возможности отработки месторождения Учкулач с использованием технологии рентгенрадиометрического обогащения свинцово-цинковых руд // Горный вестник Узбекистана. 2011. № 1. С. 17-20.
18. Robertson S. W., Van Staden P. J., Cherkayev A., Petersen J. Properties governing the flow of solution through crushed ore for heap leaching // Hydrometallurgy. 2022. Vol. 208. P. 1-17.
19. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. науч. ст. - Новосибирск, 2012. - С. 125-132.
20. Секисов А.Г., Рассказова А.В., Литвинова Н.М., Кирильчук М.С. Комбинированное кучное выщелачивание сложноизвлекаемых форм золота из техногенно-трансформированного минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 8. С. 198-208.

REFERENCES

1. Snitka N.P., Naimova R.Sh. Trends of integrated utilization of open pit mining waste at the Muruntau deposit // Mining Journal. 2018. No. 9. P. 57-61.
2. Galimov I.R., Danilchenko L.M., Makavetskys A.R. Complex recycling of mining-industrial waste // Mineral mining & conservation. 2015. No. 5-6. P. 108-115.
3. Afum B. O., Ben-Awuah E., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming framework for optimising the extraction strategy of open pit - underground mining options and transitions // International Journal of Mining Reclamation and Environment. 2019. Vol. 34. No. 10. P. 700-724.
4. LaRoche-Boisvert M., Dimitrakopoulos R. An Application of Simultaneous Stochastic Optimization at a Large Open-Pit Gold Mining Complex under Supply Uncertainty // Minerals. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 172-177.
5. Yuldoshev U.U. Opencast/underground access to deep levels at Muruntau open pit mine // Mining Journal. 2018. No. 9. P. 33-37.
6. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit // Minerals. 2021 Vol. 11. No. 1. P. 1-11.
7. Cheban A.Yu., Rasskazov I.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of the Amur region mining enterprises machinery park // Surveying and subsoil use. 2012. No. 2 (58). P. 41-50.
8. Khakulov V.A., Krapivsky E.I., Blaev B.Kh., Shapovalov V.A. Quality formation technology for Tyrnauz deposit ores using preliminary sorting and beneficiation // Obogashchenie Rud. 2018. No. 5. P. 33-39.
9. Cheban A.Yu. Perfection of cyclic-flow technologies of mining works with application of career combines // Surveying and subsoil use. 2019. No. 1. P. 20-22.
10. Golik V.I., Dmitrak Y.V., Razorenov Y.I., Maslennikov S.A., Lyashenko V.I. Mechanochemical technology for iron extraction from ore-dressing tailings // Steel in Translation. 2021. Vol. 51. No. 4. P. 241-248.
11. Kustov A.M., Inozemtsev S.B., Belenko A.P. Status and prospects for the development of the mineral resource base of gold mining at the plant // Mining Journal. 2003. No. 8. P. 18-25.
12. Cheban A.Yu. Method for exploding exploded rock mass by excavator when developing complex deposits // Surveyor Bulletin. 2020. No. 2. P. 66-70.
13. Turtygina N.A. Investigation of the process of segregation of poor copper-nickel ores // Mining Information and Analytical Bulletin. 2014. No. 1. P. 25-28.
14. Samikhov Sh.R., Zinchenko Z.A., Bobokhonov B.A. Semi-industrial tests of dump leaching of off-balance ore of the Jilau deposit // Gold and Technologies. 2013. No. 3. P. 54-57.
15. Khalezov B.D. Heap leaching of copper and copper-zinc ores. - Ekaterinburg: RIO Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2013.- 332p.
16. Samatova L.A., Shepeta E.D. Combined technologies for processing lean and waste tungsten ores // Mining Information and Analytical Bulletin. 2013. No. S4. P. 187-199.

17. Sanakulov K.S., Rudnev S.V., Kantsel A.V. On the possibility of mining the Uchkulach deposit using the technology of X-ray radiometric enrichment of lead-zinc ores // Mining Bulletin of Uzbekistan. 2011. No. 1. P. 17-20.
18. Robertson S. W., Van Staden P. J., Cherkaev A., Petersen J. Properties governing the flow of solution through crushed ore for heap leaching // Hydrometallurgy. 2022. Vol. 208. P. 1-17.
19. Sekisov A.G., Shevchenko Yu.S., Lavrov A.Yu. Explosive injection preparation of ores for leaching // Fundamental problems of the formation of the technogenic geoenvironment: Sat. scientific Art. - Novosibirsk, 2012. - P. 125-132.
20. Sekisov A.G., Rasskazova A.V., Litvinova N.M., Kirilchuk M.S. Integrated heap leaching of rebellious gold from altered mineral waste // Mining Information and Analytical Bulletin. 2019. No. 8. P. 198-208.

БЛАГОДАРНОСТИ / ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ / ACKNOWLEDGMENTS: Исследования проводились с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения Российской академии наук», финансируемого Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования РФ по проекту № 075-15-2021-663 / The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment «Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences», funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2021-663.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чебан Антон Юрьевич:

ведущий научный сотрудник,
кандидат технических наук,
Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия,
e-mail: chebanay@mail.ru

Литвинова Наталья Михайловна:

ведущий научный сотрудник,
кандидат технических наук,
Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия,
e-mail: nauka22@yandex.ru

Богомяков Роман Владимирович:

научный сотрудник,
Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия,
e-mail: roma.bogomyakov@mail.ru

Кирилчук Максим Сергеевич:

младший научный сотрудник,
Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия,
e-mail: kirilchukm@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Cheban Anton Yurievich:

Leading Researcher,
Candidate of Technical Sciences,
Mining institute the Far Eastern branch
of Russian academy of sciences,
Khabarovsk, Russia,
e-mail: chebanay@mail.ru

Litvinova Natalya Mikhailovna:

Leading Researcher,
Candidate of Technical Sciences,
Mining institute the Far Eastern branch
of Russian academy of sciences,
Khabarovsk, Russia,
e-mail: nauka22@yandex.ru

Bogomyakov Roman Vladimirovich:

Researcher,
Mining institute the Far Eastern branch
of Russian academy of sciences,
Khabarovsk, Russia,
e-mail: roma.bogomyakov@mail.ru

Kirilchuk Maxim Sergeevich:

Junior Researcher,
Mining institute the Far Eastern branch
of Russian academy of sciences,
Khabarovsk, Russia,
e-mail: kirilchukm@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.