

К вопросу оценки влияния микробиологических биоценозов на геоэкологические и геотехнические риски горных предприятий

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-67-71>

Широкое распространение микроорганизмов в подземном пространстве связано с высокой адаптацией микроорганизмов к изменяющимся условиям за счет простоты их генетического аппарата и «встроенного» механизма устойчивости к различным факторам, а также со способностью использовать различные источники питания. Поэтому изучение роли микроорганизмов в естественных и техногенных средах позволяет использовать их для решения экологических задач. Варьируя условия существования микроорганизмов в подземных выработках, можно улавливать метан, являющийся причиной газодинамических явлений, удалять из углей серосодержащие соединения для предотвращения выбросов кислых газов при их сжигании, создавать биогеохимические фильтры для предотвращения распространения вредных веществ в горном массиве и подземных водах, существенно снизить потенциальные геоэкологические и геотехнические риски горного производства.

Ключевые слова: хемолитоавтотрофы, геохимическая активность микроорганизмов, закисление сред, биокоррозия, десульфуризация, биодеструкция.

Для цитирования: К вопросу оценки влияния микробиологических биоценозов на геоэкологические и геотехнические риски горных предприятий / А.А. Куликов, Т.А. Харламова, Е.И. Хабарова и др. // Уголь. 2022. № 4. С. 67-71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-67-71.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс эксплуатации месторождений связан с повышением геоэкологических и геотехнических рисков [1]. Опираясь на методики оценки экологических рисков [2], можно утверждать, что существенный вклад в создание неблагоприятных ситуаций в геоэкологии вносят различные сообщества микроорганизмов, в огромных количествах населяющих не только приповерхностные участки разработки рудных и угольных месторождений, но также приспособившихся к повышенному давлению, температурам и развивающихся на глубинах до 4000 м. Если до начала отработки месторождения развитие микроорганизмов происходит недостаточно интенсивно из-за недостатка питательных ве-

КУЛИКОВА А.А.

Старший преподаватель
НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: alexaza_@mail.ru

ХАРЛАМОВА Т.А.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры теоретической
и прикладной химии МГОУ,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: 9168787573@mail.ru

ХАБАРОВА Е.И.

Канд. хим. наук, доцент,
ИТХТ имени М.В. Ломоносова,
МИРЭА – Российский
технологический университет,
119234, г. Москва, Россия,
e-mail: khabarova@mitht.ru

КОВАЛЕВА А.М.

Студент НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru

ществ и кислорода, то уже на стадии эксплуатации месторождения их активность резко повышается.

Микроорганизмы провоцируют биокоррозию, образование кислых рудничных вод, способствуют снижению прочности грунтов, образованию пльвунов и т.п. Мировая практика обладает огромным числом примеров формирования микроорганизмами рискообразующих факторов.

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рискообразующие факторы

Одной из важнейших проблем современного производства в целом является проблема коррозионного разрушения материалов. Проблема глобальная и охватывает практически все отрасли. Наряду с широко распространенными видами коррозии, по данным разных источников, от 15 до 50% приходится на долю биокоррозии, причиной которой является микробиологическая активность. Известно, что бактерии в природных условиях могут сосуществовать в свободной планктонной форме и в виде агрегатов, которые называются биопленками. Основная часть бактериальных сообществ существует именно в виде прикрепленных к поверхностям раздела фаз биопленок, что повышает их устойчивость в составе биопленки в 100 -1000 раз [3, 4].

Наиболее часто встречаются биопленки, развивающиеся на границе жидкой и твердой сред. Экспериментально доказано, что биопленки вызывают биокоррозию и являются основной опасностью своего воздействия для систем коммуникации, технологического оборудования. Скорость биокоррозии значительно превышает химическую и может достигать от 3-5 до 10 мм/год [5, 6]. Отмечается, что в результате биокоррозии строительных материалов наблюдаются изменение окраски и появление плесневых пятен различного цвета, снижение эксплуатационных характеристик материалов, приводящее к потере их прочности и разрушению.

Биокоррозия вызывается бактериями и грибами, и их коррозионная агрессивность может проявляться в анаэробных и аэробных условиях. Кроме самих микроорганизмов в развитии биокоррозии активное участие принимают продукты их жизнедеятельности, что приводит к ускорению процесса биокоррозии. Риски развития биокоррозионных процессов возникают уже при минимальной концентрации микробов 10^{-1} кл/мл.

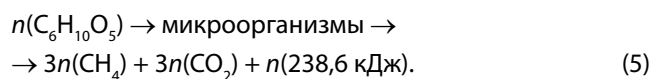
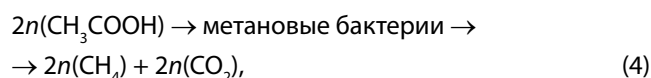
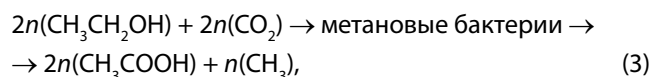
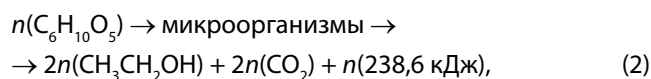
В аэробных условиях в присутствии кислорода коррозионную активность проявляют тионовые бактерии, нитрифицирующие и железобактерии. Метаболизм двух первых видов бактерий приводит к образованию агрессивных кислых сред, а именно к образованию H_2SO_4 и HNO_3 . Соединения серы (от молекулярной серы и до различных ее соединений) под действием тионовых бактерий могут окисляться до сульфатов [7]. Нитрифицирующие бактерии в аэробных условиях способны окислять аммиак до нитратов с образованием азотной кислоты и тем самым создавать благоприятные условия для коррозионных процессов. Железобактерии преимущественно образуют слизистые скопления (биопленку), под ко-

торыми на поверхности конструкции образуются аэрируемые зоны (ячейки). Вследствие неоднородности поверхность разбивается на анодные и катодные участки, приводящие к возникновению короткозамкнутых гальванических элементов и протеканию электрохимической коррозии. Анодные участки поверхности металлических конструкций окисляются, и наблюдается разрушение металла [8].

В анаэробных условиях биокоррозия в основном развивается под действием сульфатвосстанавливающих бактерий рода *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*. Их активность в кислой среде приводит к восстановлению сульфат-ионов до сероводорода: $SO_4^{2-} - 8e + 2H^+ \rightarrow H_2S$. Именно они являются причиной коррозии металлических конструкций в застойных зонах, где наиболее благоприятно развиваются колонии бактерий. Содержание микробных клеток и аэробных бактерий может достигать 10^6 кл/мл.

Микроорганизмы способны уничтожать буквально любые строительные материалы и конструкции. Действие микроорганизмов способно разрушить не только металлические конструкции, но и сооружения из бетона, камня, мрамора, древесины, воздействовать на полимерные конструкции и материалы из резины и каучука, а также разрушать их, на лакокрасочные покрытия, приводя к снижению их прочности, деформации, а впоследствии и к разрушению.

Многие виды грибов (до 60 видов) в строительных конструкциях разрушают древесину при высокой влажности и слабом движении воздуха. Биоразрушение древесины сводится к тому, что грибы, развиваясь за счет целлюлозы (40–50%) древесины, способствуют ее гниению, высыханию и растрескиванию, а далее, при участии метановых бактерий происходит разложение древесины с выделением метана. Количество метана, образующегося при биодegradации деревянных конструкций в горных выработках, рассчитывается по реакциям биоразложения целлюлозы в анаэробных условиях:



Согласно вышеприведенным реакциям половина исходного количества целлюлозы окисляется до CO_2 , а другая часть восстанавливается до CH_4 . В результате разложения одного моля глюкозы выделяется 238,6 кДж тепла.

Можно рассчитать удельный выход биогаза по формуле:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot R(100 - W) \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot У + 0,34 \cdot Б), \quad (6)$$

где Q – удельный выход биогаза; R – содержание органической составляющей древесины, содержащееся в тканях древесины (40–60%); W – фактическая влажность, %; J – жиры, %; Y – углеводы, %; B – белки, %.

Тогда удельный выход биогаза равен:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot 100(100 - 60) \cdot 0,62 \cdot 50 = 0,124, \text{ кг/кг древесины.} \quad (6)$$

Учитывая, что плотность метана равна $0,717 \text{ кг/м}^3$, то объем биогаза равен $0,17 \text{ м}^3/\text{кг} = 170 \text{ м}^3/\text{т}$. Таким образом, при разложении 1 т древесины выделяется 170 м^3 метана.

Плесневые грибы и продукты их жизнедеятельности способны также вызывать биоповреждения полимерных материалов, так как более 60% используемых полимерных материалов не обладают достаточной стойкостью к воздействию микроорганизмов. Такие воздействия снижают функциональные характеристики полимеров, изменяя диэлектрические параметры, поверхностное сопротивление, твердость и др.

Многочисленные случаи микробиологических повреждений резинотехнических изделий встречаются везде. Воздействие бактерий видов *Bacillus*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Achromobacter*, *Pseudomonas* на компоненты резины и каучука, которые в основном используются для крепежа конструкций, в совокупности с разрушением самих металлических конструкций значительно повышает риски, связанные с обрушениями пород.

Трансформация минерального состава грунта

На глинистых и песчаных частицах образование биопленок понижает трение в грунтах, а выделяющиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов газы повышают давление в порах породы. Следствием этих процессов является формирование плавунных свойств грунтов, приводящих к аварийным ситуациям в подземном пространстве.

Микроорганизмы способны изменять прочностные свойства глинистых грунтов. В аэробных условиях создается благоприятная обстановка для развития микробиологических окислительных процессов, и микроорганизмы, присутствующие в карбонатах, за счет создания прочных агрегатов размерами $0,50\text{--}0,25 \text{ мм}$ укрепляют глинистые отложения и таким образом повышают их прочность. В анаэробных условиях, наоборот, происходят разупрочнение частиц глины и образование мелких частиц размерами не более $0,001 \text{ мм}$, за счет чего глинистый грунт приобретает свойства текучести [8, 9].

ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Использование микроорганизмов в биогеотехнологиях

Биогеотехнологии направлены на разработку технологий на горных предприятиях с участием микроорганизмов. Отмечается, что биогеотехнологии ориентированы на снижение техногенного воздействия на окружающую среду предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых, поскольку исключается использование агрессивных реагентов, таких как серная, соляная, цианистоводо-

родная кислоты, хлор [10]. Также микроорганизмы можно использовать для переработки лежащих отходов горного производства, доизвлекая дорогостоящие и ценные компоненты. Поэтому поиск новых видов микроорганизмов, способных извлекать более широкий спектр полезных ископаемых и доизвлекать ценные компоненты из отходов, позволит комплексно использовать минеральное сырье и снизить объемы токсичных отходов.

Микробные технологии направлены на снижение риска токсичных выбросов в атмосферу за счет снижения содержания серы в углях, био- и природном газе, метана в угольных месторождениях, переработку сульфидных руд и концентратов. Например, сера в углях встречается как в органической, так и в неорганической форме, причем суммарное ее содержание достигает 10–12%, и большая часть серы приходится именно на неорганическую составляющую. При использовании угля для сжигания с высоким содержанием серы в атмосферу выбрасывается SO_2 , провоцирующий в дальнейшем выпадение кислотных дождей, наносящих огромный ущерб окружающей среде [2].

Неорганическая сера встречается в железосодержащих сульфидных минералах, может окисляться микроорганизмами группы тионовых бактерий (*Thiobacillus Ferrooxidans*, *Thiobacillus Thiooxidans*) по различным механизмам до сульфат-ионов или до элементной серы. Технология с сульфидоокисляющими бактериями реализована в промышленном масштабе для удаления сероводорода из биогаза и природного газа, способна удалить серу за короткий промежуток времени. Учитывая, что попутчиками угля являются ценные металлы, то при его микробной десульфуризации можно попутно удалить их и решить не только экологические проблемы, но и получить дополнительный экономический эффект. А органическую серу, встраиваемую в структуру матрицы угля и образующую ковалентную связь C-S, можно расщепить с помощью грибов и гетеротрофных бактерий [11, 12].

Разработан способ обработки угля с участием микроорганизмов – биооживление (солюбилизация), заключающийся в переводе низкосортных углей в суспензированные продукты, обладающие хорошими физико-химическими и энергетическими свойствами. Из-за сложности структуры угля способ недостаточно изучен, но, судя по публикациям, он является достаточно перспективным [13].

Микробиологический способ борьбы с метаном в угольных шахтах

Все традиционные способы борьбы с метаном хороши на неглубоких горизонтах. С ростом глубины возникают трудности обеспечения высокого уровня добычи и безопасности условий труда. В качестве альтернативы можно использовать широко распространенные микробы, сосредоточенные в разломах и трещинах у земной поверхности. Эти микробы создают препятствия на пути метана, разрушая его с использованием углерода для построения своих клеток. В основе этого способа борьбы с метаном лежит биохимический процесс поглощения газа метаноокисляющими бактериями *Methylococcus capsulatus* [14, 15].

Использование микроорганизмов в качестве «микробных барьеров»

Известно, что для строительства городских подземных сооружений в сложных гидрогеологических условиях применяют специальные методы их укрепления с помощью гидроизоляции, в состав которой входят такие потенциально высокотоксичные вещества как фенол, формальдегид и эпихлоргидрин. Под действием грунтовых вод они могут мигрировать далее в грунтовый массив. Например, миграция формальдегида из различных материалов для химического укрепления может достигать 0,01-0,8 мг в течение часа. С целью предотвращения дальнейшей миграции химических веществ возможно использование штамма бактерии как «микробный барьер», использующий токсиканты в качестве субстрата для питания. В результате применения «микробных барьеров» получим не только направленную биодеградацию загрязнения, но и огромный потенциал для снижения риска миграции токсикантов [16].

ВЫВОДЫ

Из анализа рискообразующих факторов следует, что предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых подвержены воздействию природных биоценозов, населяющих приповерхностные участки месторождений, поровое пространство рудных тел и вмещающих пород в аэробных и анаэробных условиях, в самых неблагоприятных условиях (широкой области pH, при высоких температурах и давлениях). Происходящие бактериальные окислительные процессы приводят к повышению геологических и геотехнических рисков.

До настоящего времени в горной промышленности не уделяется достаточного внимания бактериальным окислительным процессам, приводящим к повышению экологической опасности объектов и являющихся факторами экологического и технического риска. В связи с этим предварительно, до промышленного освоения месторождения, на стадии проектирования возникает необходимость мониторинга биоценозов в грунтах, прогнозирования и предупреждения развития нежелательных биоценозов. Мониторинг биоценозов должен быть включен в комплекс мероприятий по безопасности ведения горных работ с прогнозированием их влияния на подземные несущие конструкции – крепи горных выработок, закладочный материал. Применение такой предупредительной меры позволит минимизировать риски на горных предприятиях.

Несмотря на то, что биогеотехнологии направлены на снижение экологических и технических рисков, их применение требует жесткого биологического контроля динамики численности микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Список литературы

- Скопинцева О.В., Баловцев С.В. Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 6-1. С. 74–83.
- Колесникова Л.А., Новиков А.С. Анализ существующих методик оценки экологических рисков промышленных предприятий // Уголь. 2019. № 4. С. 97-100. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-97-100.
- Interactions in multispecies biofilms: do they actually matter / M. Burmolle, D. Ren, T. Bjarnsholt et al. // Trends in Microbiology. 2014. Vol. 22. No. 2, P. 84-91.
- Kulikova E.Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. P. 385-390.
- Дашко Р.Э., Романов И.С. Прогнозирование горно-геологических процессов на основе анализа подземного пространства рудника Купол как многокомпонентной системы (Чукотский автономный округ, Анадырский район) // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 20-32.
- Колотова О.В., Могилевская И.В. Процессы микробного биоповреждения в подземных горных выработках // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 2. С. 44-66.
- Etemadifar Z., Etemadzadeh S.S., Emtiazi G.A. Novel approach for bioleaching of sulfur, iron, and silica impurities from coal by growing and resting cells of *Rhodococcus* spp // Geomicrobiology journal. 2019. Vol. 36. No. 2. P. 123-129.
- Alekseev I.V., Dashko R.E., Microbially-Induced Corrosion of Structural Materials in Underground Workings of the Yakovlev's Mine (Kursk Magnetic Anomaly, Russia) // Biosciences biotechnology research Asia. 2017. Vol. 14. No. 1. P. 167-175.
- Максимович Н.Г., Деменев А.Д., Хмурчик В.Т. Трансформация минерального состава дисперсного грунта в условиях микробиологического воздействия // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Т. 20. № 1. С. 24-32.
- Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Бахир В.М. Обогащение золотосодержащих руд методом гидрохлорирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 3. С.108-117.
- Optimization of the coal bacterial desulfurization using mathematical methods / I.A. Blayda, N.Yu. Vasylieva, T.V. Vasylieva et al. // Biotechnologia Acta. 2018. Vol. 11. No. 6. P. 55-66.
- Etemadifar Z., Etemadzadeh S.S., Emtiazi G.A. Novel approach for bioleaching of sulfur, iron, and silica impurities from coal by growing and resting cells of *Rhodococcus* spp // Geomicrobiology journal. 2019. Vol. 36. No. 2. P. 123-129.
- Microbial enhancing coal-bed methane generation potential, constraints and mechanism – a mini-review / Y. Bao, H. Huang, D. He et al. // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 35. P. 68-78.
- Зиновьева О.М., Колесникова Л.А., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. 2020. № 10. С. 62-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.
- Куликова Е.Ю. Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 3. С. 28-31. DOI:10.18412/1816-0395-2016-3-28-31.
- Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries / A.E. Filin, O.M. Zinovieva, L.A. Kolesnikova et al. // Eurasian Mining. 2018. No. 1. P. 31-34.

Original Paper

UDC 622.82 © A.A. Kulikova, T.A. Kharlamova, E.I. Khabarova, A.M. Kovaleva, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 67-71
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-67-71>

Title

**ON THE ISSUE OF ASSESSING THE IMPACT OF MICROBIOLOGICAL BIOCENOSES
 ON THE GEOECOLOGICAL AND GEOTECHNICAL RISKS OF MINING ENTERPRISES**

Authors

Kulikova A.A.¹, Kharlamova T.A.², Khabarova E.I.³, Kovaleva A.M.¹

¹ National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

² MGOU, Moscow, 105005, Russian Federation

³ Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119234, Russian Federation

Authors Informa **Kulikova A.A.**, Senior Lecturer,

e-mail: alexaza@mail.ru

Kharlamova T.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Theoretical and Applied Chemistry, e-mail: 9168787573@mail.ru

Khabarova E.I., PhD (Chemical.), Assistant Professor,

e-mail: khabarova@mitht.ru

Kovaleva A.M., student, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru

Abstract

The widespread occurrence of microorganisms in the underground space is associated with the high adaptation of microorganisms to changing conditions due to the simplicity of their genetic apparatus and the "built-in" mechanism of resistance to various factors, as well as the ability to use various food sources. Therefore, the study of the role of microorganisms in natural and man-made environments makes it possible to use them for solving environmental problems. By varying the conditions for the existence of microorganisms in underground workings, it is possible to capture methane, which is the cause of gas-dynamic phenomena, remove sulfur-containing compounds from coals to prevent acid gas emissions during their combustion, create biogeochemical filters to prevent the spread of harmful substances in the mountain range and groundwater, conduct a more environmentally friendly and deep mining, significantly reducing the potential geoecological and geotechnical risks of mining.

Keywords

Chemolithoautotrophs, Geochemical activity of microorganisms, Acidification of media, Biocorrosion, Desulfurization, Biodegradation.

References

1. Skopintseva O.V. & Balovtsev S.V. Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2020, (6-1), pp. 74-83. (In Russ).
2. Kolesnikova L.A. & Novikov A.S. The analysis of the existing techniques of assessment of environmental risks. *Ugol'*, 2019, (4), pp. 97-100. (In Russ). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-97-100.
3. Burmolle M., Ren D., Bjarnsholt T. & Sorensen S.J. Interactions in multispecies biofilms: do they actually matter. *Trends in Microbiology*, 2014, Vol. 22, (2), pp. 84-91.
4. Kulikova E.Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures. *Materials Science Forum*, 2018, (931), pp. 385-390.
5. Dashko R.E. & Romanov I.S. Forecasting of mining and geological processes based on the analysis of the underground space of the Kupol deposit as a multicomponent system (Chukotka Autonomous Region, Anadyr district). *Journal of Mining Institute*, 2021, (247), pp. 20-32. (In Russ).
6. Kolotova O.V. & Mogilevskaya I.V. The microbial bio-damage processes in the underground galleries. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2020, (2), pp. 44-66. (In Russ).

7. Etemadifar Z., Etemadzadeh S.S. & Emtiazi G.A. Novel approach for bi-leaching of sulfur, iron, and silica impurities from coal by growing and resting cells of *Rhodococcus* spp. *Geomicrobiology journal*, 2019, Vol. 36, (2), pp. 123-129.

8. Alekseev I.V. & Dashko R.E., Microbially-Induced Corrosion of Structural Materials in Underground Workings of the Yakovlev's Mine (Kursk Magnetic Anomaly, Russia). *Biosciences biotechnology research Asia*, 2017, Vol. 14, (1), pp. 167-175.

9. Maksimovich N.G., Demenev A.D. & Khmurchik V.T. Transformation of the Mineral Composition of Dispersed Soil under Microbiological Impact // *Vestnik Permskogo yuniversiteta. Geologiya*, 2021, Vol. 20, (1), pp. 24-32. (In Russ).

10. Kharlamova T.A., Alafedov A.F. & Bakhir V.M. Enrichment of gold-containing ore by method of hydrochlorination. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2015, (3), pp. 108-117. (In Russ).

11. Blayda I.A., Vasylieva N.Yu., Vasylieva T.V., Sliusarenko L.I. & Dzhambek O.I. Optimization of the coal bacterial desulfurization using mathematical methods. *Biotechnologia Acta*, 2018, Vol. 11, (6), pp. 55-66.

12. Etemadifar Z., Etemadzadeh S.S. & Emtiazi G.A. Novel approach for bi-leaching of sulfur, iron, and silica impurities from coal by growing and resting cells of *Rhodococcus* spp. *Geomicrobiology journal*, 2019, Vol. 36, (2), pp. 123-129.

13. Bao Y., Huang H., He D., Ju Y. & Qi Y. Microbial enhancing coal-bed methane generation potential, constraints and mechanism – a mini-review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, (35), pp. 68-78.

14. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Analysis of environmental problems in coal-mining regions. *Ugol'*, 2020, (10), pp. 62-67. (In Russ). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

15. Kulikova E.Yu. Assessment of polymer materials environmental compatibility in underground development. *Ecology and Industry of Russia*, 2016, Vol. 20, (3), pp. 28-31. (In Russ). DOI: 10.18412/1816-0395-2016-3-28-31.

16. Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A. & Merkulova A.M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*, 2018, (1), pp. 31-34.

For citation

Kulikova A.A., Kharlamova T.A., Khabarova E.I. & Kovaleva A.M. On the issue of assessing the impact of microbiological biocenoses on the geoecological and geotechnical risks of mining enterprises. *Ugol'*, 2022, (4), pp. 67-71. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-67-71.

Paper info

Received January 13, 2022

Reviewed February 1, 2022

Accepted March 22, 2022