

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА ВБЛИЗИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

Н. А. Федотенко^{1,2}✉

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»), г. Донецк, ДНР, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН), г. Москва, Российская Федерация
✉ geo-science@mail.ru

Аннотация: Представлена проблематика разработки месторождений полезных ископаемых под водными или вблизи водных объектов, а также результаты анализа массива многолетних данных мониторинга деформационных данных массива горных пород, в том числе находящихся в Донецком угольном бассейне. Рассмотрены примеры затопления угольных шахт с зафиксированным проявлением скачкообразности дебита воды, когда промежутки максимального дебита сменялись промежутками многократного ослабления притока, а также неравномерного подъема затопления шахты. Полученные результаты показали, что для обеспечения безопасного освоения недр вблизи водных объектов необходимо учитывать фактор иерархичного состояния природных трещин массива горных пород, а также то, что вода, особенно под большим давлением, является существенным фактором, оказывающим влияние на изменение системы трещин подработанного массива.

Ключевые слова: уголь, подработанный массив, деформация, горные работы, прорыв воды, затопление, безопасность, трещиноватый массив

***Благодарность, финансирование:** Исследования проведены в рамках выполнения научно-исследовательской работы FRSR – 2024 – 0002 «Исследование деформированного состояния и геофизических свойств подработанного углепородного массива».

Для цитирования: Федотенко Н. А. Анализ исследований процесса образования трещин подработанного массива вблизи водных объектов для обеспечения безопасного освоения угольных месторождений. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(6):138-142. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_138_142.

ANALYSIS OF STUDIES OF THE PROCESS OF CRACK FORMATION IN UNDERMINED MASSIF NEAR WATER BODIES TO ENSURE THE SAFE DEVELOPMENT OF COAL DEPOSITS*

N. A. Fedotenko^{1,2}✉

¹Republican Academic R&D Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying (RANIMI), Donetsk, DPR, Russian Federation

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
✉ geo-science@mail.ru

Abstract: The article presents the problems of developing mineral deposits under or near water bodies, as well as the results of the analysis of a multi-year data array of monitoring deformation data of rock mass, including those located in the Donetsk coal basin. Examples of coal mine flooding with a recorded manifestation of discontinuous water flow rate are considered, when intervals of maximum flow rate were replaced by intervals of multiple weakening of the inflow, as well as an uneven rise of mine flooding. The results obtained showed

that in order to ensure safe development of subsoil near water bodies, it is necessary to take into account the factor of the hierarchical state of natural cracks in the rock mass, as well as the fact that water, especially under high pressure, is a significant factor influencing the change in the crack system of the underworked mass.

Keywords: coal, underworked massif, deformation, mining operations, water breakthrough, flooding, safety, fractured massif

***Acknowledgments, funding:** The research was carried out as part of the research work FRSR – 2024 – 0002 “Study of the deformation state and geophysical properties of an underworked coal-rock massif”.

For citation: Fedotenko N. A. Analysis of studies of the process of crack formation in undermined massif near water bodies to ensure the safe development of coal deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(6):138-142. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_138_142

Введение

Обеспечение безопасного функционирования предприятий угледобывающего комплекса, в особенности в связи с продвижением выработок в направлении расположения жилых и производственных сооружений часто сопряжено с проблемой разработки месторождений полезных ископаемых под водными или вблизи водных объектов. Значительное количество городов и поселков подработано очистными выработками. Это негативно сказывается на объектах социальной и производственной инфраструктуры, расположенных на подрабатываемой территории, приводит к их повреждениям, вплоть до утраты ими функционального состояния [1-3].

В практике горного дела иногда недооценивают опасность скопления и прорыва воды в горные выработки. Между тем при разработке угольных месторождений встречаются очень сложные гидрогеологические условия, которые требуют особого внимания. По данным мировой на угольных шахтах ежегодно происходят десятки случаев прорывов воды в горные выработки с их подтоплением и приостановкой горных работ [4-7].

Затопление угольных шахт может сопровождаться неожиданным притоком и прорывов воды из них в выработки соседних угледобывающих предприятий. Имеются случаи поступления шахтных вод также через водонепроницаемые барьерные и околоствольные целики. Эти случаи часто находятся вне сферы внимания исследователей и многие из них еще не получили должного научного объяснения [8], поэтому важно анализировать особенности таких прорывов воды и учитывать соответствующие выводы при прогнозе техногенного изменения гидро-геологических условий разработки.

Обращает на себя внимание тот факт, что в ряде случаев при прорывах воды проявляется скачкообразность дебита

воды — промежутки максимального дебита сменяются промежутками многократного ослабления притока вне явной связи с мерами по ликвидации (изоляции) мест прорыва. Пример тому ситуация, которая наблюдалась при аварии на шахте «Западная» (2003 г.) (рис.1).

Цель исследования: целью данной работы является поиск эффективных решений, направленных на обеспечение безопасного ведения горных работ вблизи водных объектов, позволяющих, опираясь на установленные закономерности поведения массива горных пород, а также комплексный анализ ситуаций прорыва воды, предпринимать своевременные меры в виде прогнозирования поведения массива горных пород при освоении недр.

Материалы и методы исследования

В процессе подготовки данной статьи были использованы базы многолетних данных по наблюдениям за состоянием подработанного массива горных пород, в том числе в Донецком угольном бассейне, аналитические данные по распределению горизонтальных деформаций пород вдоль горных выработок, в частности, полученные ранее проф. М. А. Иофисом натурные профильные распределения деформаций толщи пород и земной поверхности. В работе были использованы аналитические методы, а также методы математического моделирования.

Результаты и их обсуждение

В ходе наблюдений зафиксирована неравномерность подъема затопления шахты. На протяжении отдельных отрезков времени уровень затопления сохранялся практически неизменным. Внутри шахты происходили периодические налеты волн шахтной воды от ствола, а также мощные сотрясения массива (по словам горняков «удары»), после которых появлялись новые потоки воды и повышался темп затопления шахты [8,9].

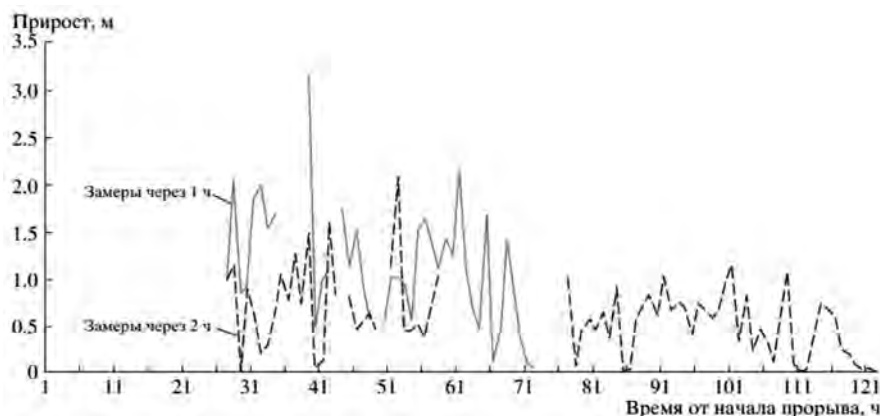


Рис. 1. Прирост уровня затопления шахты «Западная» по сравнению с предшествующим замером в ходе прорыва воды в главный ствол №2 [8] /

Fig. 1. Increase in the flood level of the Zapadnaya mine compared to the previous measurement during the water breakthrough into the main shaft No. 2 [8]

Можно заключить, что прорыв представлял собой цепочку водопроявлений, динамику которой фиксировали указанные эффекты в виде скачкообразности колебаний, а затем многократного ослабления притока. Характеристики и обстоятельства поступления позволяют связать их генерацию с техногенным изменением напряженно-деформированного состояния массива и образованием водопроводящих трещин. Этот пример является показательным для самого факта поступления перетока, который отражает изменение проницаемости пород у водных объектов [10, 11].

Эффекты подобного трещинообразования имели место также до и после обоих прорывов. Зафиксированы признаки как резкого, так и постепенного образования раскрытия и сужения водопроводящих трещин [8]. Раскрытие и закрытие трещин объясняется взаимовлиянием активированных природных трещин, а не кольматацией.

Сходные процессы проявляются в разгруженных образцах пород, особенно песчаников в форме их растрескивания, например, в «дисковании» керна выбросоопасных разностей. Также скачкообразно в отдельные моменты времени может произойти смыкание трещин [8].

Таким образом, затопление шахт трансформирует фильтрационную структуру и проницаемость породной среды. Разрядка внутренних напряжений массива порождает автоколебания, способные вызвать локальное нарушение его сплошности и генерацию гидравлических импульсов с выбросом воды в горные выработки. Проявление структурных природных трещин в процессах затопления угольных шахт, неравномерность процесса может зависеть от структуры трещин. Выявленное проникновение воды свидетельствует о сильной природной трещиноватости массива и относительно слабом напоре воды.

Еще одним важным фактором, который необходимо учитывать при оценке безопасности разработки месторождений полезных ископаемых, является пространственно-временная изменчивость механических свойств подработанного массива горных пород [12]. Учет таких особенностей геомеханических объектов в инженерных расчетах основывается, главным образом, на закономерностях, установленных в результате анализа пространственных и временных рядов разнородных геодезических и геологогеофизических наблюдений [12–16]. В основу исследований был взят анализ полученных ранее проф. М. А. Иофисом натурных профильных распределений деформаций толщи пород и земной поверхности [12]. Замеры смещений пород проводились в шахте «Шевелевская» и шахте им. Ю.А. Гагарина (Донбасс) в соответствии с инструкцией [17]. На шахте «Шевелевская» после проходки одиночной горизонтальной выработки длиной свыше 300 м (квершлаг горизонта 176 м) в стенке выработки последовательно через 2 м были установлены жесткие стенные реперы, заглубленные на 0.5 м от поверхности выработки. В процессе наблюдений фиксировались смещения реперов относительно друг друга. Точность измерения смещений составляла 0.1 мм. После активной фазы процесса сдвижения пород, которая была вызвана воздействием очистных работ на нижележащих горизонтах и продолжалась свыше двух лет, смещения реперов пород были пересчитаны в деформации массива горных пород. Масштаб воздействия очистных работ в сопоставлении с расстоянием между реперами давал основания считать, что техногенное воздействие на контролируемые участки массива горных

пород было достаточно однородным, а неоднородность пространственного распределения деформаций пород была вызвана локальной неоднородностью массива пород. На рис. 2 зависимость 1 соответствует горизонтальным деформациям пород вдоль квершлага по прошествии примерно трех лет после заложения реперов.

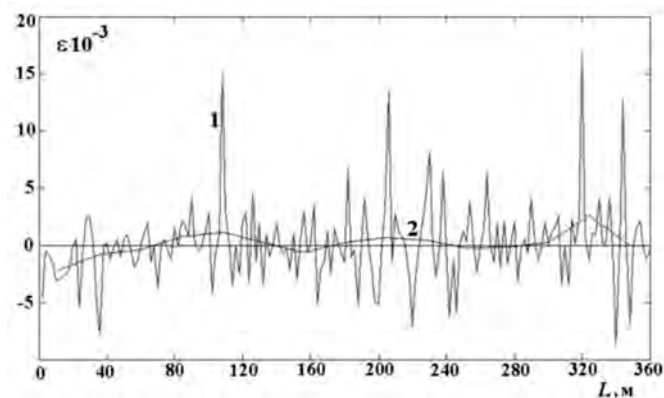


Рис. 2. Распределение горизонтальных деформаций пород вдоль квершлага (шахта «Шевелевская»), база измерения: 1 – 2 м; 2 – 24 м [18] / Fig. 2. Distribution of horizontal rock deformations along the crosscut (Shevelevskaya mine), measurement base: 1 – 2 m; 2 – 24 m [18]

Как видно распределение деформаций вдоль квершлага является резко неоднородным, имеют место отдельные пики деформаций различных знаков, превышающие допустимые значения. При достаточно большом расстоянии между реперами распределение деформаций приобретает «сглаженный» вид (зависимость 2). В среднем на рассматриваемом участке массива горизонтальные деформации почти равны нулю. В результате визуальных обследований установлено, что острые пики деформаций обычно приурочены к природным трещинам или контактам пород с резко различными свойствами, которые активизируются при техногенном воздействии на массив. Это особенно отчетливо проявляется в процессе образования уступов в мульде сдвижения пород земной поверхности. Поэтому есть веские основания использовать распределения деформаций, подобные тем, что показаны на рис. 1, в анализе закономерностей природной трещинной структуры массива горных пород.

Выводы

Комплексный анализ ситуаций прорыва воды, а также исследований на основании обработки натурных данных наблюдений, проводимых на ряде шахт Донбасса, дает нам основание сделать вывод, что для обеспечения безопасного освоения недр вблизи водных объектов необходимо учитывать фактор иерархичного состояния природных трещин массива горных пород, а также то, что вода, особенно под большим давлением, является существенным фактором, оказывающим влияние на изменение системы трещин подработанного массива. Показано, что в результате ее влияния часть трещин способна закрываться, при этом формируя новые каналы для проникновения воды.

Прогноз геодинамических явлений в угольных шахтах, позволяют уточнить зоны деформирования подработанного массива, места скопления в нем подземных вод, вывести новые и уточненные критерии прогноза деформаций земной поверхности и повысить безопасность подработки зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cherdantsev, N. V. Analysis of the state for a coal massif enclosing in-seam working and a geological discontinuity / N. V. Cherdantsev, S. V. Cherdantsev // *Mechanics of Solids*. — 2018. — Т. 53. — №. 2. — P. 211–220. — <https://doi.org/10.3103/S0025654418020127>.
2. Analytical research of the stress-deformed state in the rock massif around faulting / V. Lozynskyi, P. Saik, M. Petlovanyi, et al. // *International Journal of Engineering Research in Africa*. — 2018. — Т. 35. — P. 77–88. — <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.35.77>.
3. Investigation of processes of rocks deformation and the earth's surface subsidence during underground coal mining / V. Buzlyo, A. Pavlychenko, O. Borysovska, D. Saveliev // *E3S Web of Conferences*. 2019. — Vol. 123. — art. numb. 01050. — <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301050>.
4. Бардакова, Е. А. Взаимосвязь гидрогеологических и геомеханических параметров при прогнозе последствий ликвидации угольных шахт / Е. А. Бардакова, Ф. М. Голубев // *Проблемы горного дела : Сборник научных трудов III Международного форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, Донецк, 06–07 апреля 2023 года*. — Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. — С. 171–175.
5. Batrak, G. Influence of Hydrodynamic Conditions on the Mass Transfer of Pollutants in the Areas of Liquidated Mines // In: Svalova, V. (eds) *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering*. Springer, Cham. —2021. — P. 191–198. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_12.
6. Kulikova, E. Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations / E. Kulikova // *Recent Researches in Earth and Environmental Sciences: 2nd International Conference on Advanced Science and Engineering 2019 (ICOASE2019) Zakho-Duhok, Kurdistan Region—Iraq, April 2–4, 2019*. — P. 21–33. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-18641-8_3.
7. Костарев, А. П. Повышение эффективности мер предупреждения прорывов воды на угольных шахтах / А. П. Костарев, Н. А. Митишова // *Безопасность труда в промышленности*. — 2000. — № 1. — С. 35–39.
8. Мохов, А. В. Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение / А. В. Мохов // *Доклады Академии наук*. — 2007. — Т. 414, № 2. — С. 223–225.
9. Мохов, А. В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления / А. В. Мохов // *Вестник Южного научного центра РАН*. — 2012. — Т. 8, № 3. — С. 42–49.
10. Одинцев, В. Н. Новый геомеханический подход к прогнозу опасных гидрогеологических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых / В. Н. Одинцев, И. В. Милетенко, Н. А. Милетенко // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. — 2011. — № 7. — С. 103–108.
11. Одинцев, В. Н. Геомеханическая оценка изменения гидрогеологических условий налегающих пород при скважинной гидродобыче железных руд / В. Н. Одинцев, И. В. Милетенко, Н. А. Милетенко // *Маркшейдерия и недропользование*. — 2010. — № 5(49). — С. 51–54.
12. Экспериментальное выявление пространственной периодичности наведенных деформаций массива горных пород / М. А. Иофис, В. Н. Одинцев, Д. И. Блохин, В. И. Шейнин // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2007. — № 2. — С. 21–27.
13. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. Геомеханика. — М.: Изд. МГГУ. 2005. — 438 с.
14. Курленя, М. В. Проблемы нелинейной геомеханики. Часть I. / М. В. Курленя, В. Н. Опарин // *ФТПРПИ*. — 1999. — № 5. — С. 12–26.
15. Шейнин, В. И. Интерпретация составляющих пространственной изменчивости механических свойств горного массива и оценка их вероятностных характеристик / В. И. Шейнин // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 1982. — № 4. — С. 3–8.
16. Сашурин А. Д. Сдвигание горных пород на рудниках черной металлургии. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН. 1999. — 268 с.
17. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. — М.: Недра. 1988.
18. Блохин, Д. И. Результаты спектрального анализа данных, характеризующих особенности распределения деформаций пород вблизи подземных выработок / Д. И. Блохин, В. Н. Одинцев, В. И. Шейнин // *ГИАБ*. — 2007. — № 9. — С. 146–152.

REFERENCE

1. Cherdantsev NV, Cherdantsev SV. Analysis of the state for a coal massif enclosing in-seam working and a geological discontinuity. *Mechanics of Solids*. 2018;53(2):211–20. <https://doi.org/10.3103/S0025654418020127>.
2. Lozynskyi V, Saik P, Petlovanyi M, et al. Analytical research of the stress-deformed state in the rock massif around faulting. *International Journal of Engineering Research in Africa*. 2018;35:77–88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.35.77>.
3. Buzlyo V, Pavlychenko A, Borysovska O, et al. Investigation of processes of rocks deformation and the earth's surface subsidence during underground coal mining. *E3S Web of Conferences*. 2019;123:01050. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301050>.
4. Bardakova EA, Golubev FM. Interrelation of hydrogeological and geomechanical parameters in predicting the consequences of coal mine liquidation. *Problems of mining: Proceedings of the III International Forum of Students, Postgraduates and Young Mining Scientists*. Donetsk, April 06–07, 2023. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2023:171–5 (In Russ.).
5. Batrak G. Influence of Hydrodynamic Conditions on the Mass Transfer of Pollutants in the Areas of Liquidated Mines. In: Svalova, V. (eds) *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering*. Springer, Cham. —2021:191–8. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_12.
6. Kulikova E. Risk Assessment of Dangerous Natural Processes and Phenomena in Mining Operations. In *Recent Researches in Earth and Environmental Sciences: 2nd International Conference on Advanced Science and Engineering 2019 (ICOASE2019)*. Zakho-Duhok, Kurdistan Region—Iraq, April 2–4, 2019:21–33. DOI: 10.1007/978-3-030-18641-8_3.
7. Kostarev AP, Mitishova NA. Improving the effectiveness of measures to prevent water breakouts in coal mines. *Occupational safety in industry*. 2000;1:35–9 (In Russ.).
8. Mokhov AV. Cracking under the influence of flooding of coal mines and its hydrodynamic significance. *Reports of the Academy of Sciences*. 2007;414(2):223–5 (In Russ.).
9. Mokhov AV. Hydrodynamic evolution of the hollow spaces of coal mines under the influence of flooding. *Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012;8(3):42–9 (In Russ.).
10. Odincev VN, Miletenco IV, Miletenco NA. A new geomechanical approach to the prediction of dangerous hydrogeological processes in the underground mining of solid minerals. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011;7:103–8 (In Russ.).
11. Odincev VN, Miletenco IV, Miletenco NA. Geomechanical assessment of changes in the hydrogeological conditions of overlying rocks during borehole hydro mining of iron ores. *Mine Surveying and subsoil use*. 2010;5(49):51–4 (In Russ.).
12. Iofis MA, Odincev VN, Blokhin DI, et al. Experimental detection of spatial periodicity of induced deformations of a rock mass. *Physico-technical problems of mining*. 2007;2:21–7 (In Russ.).
13. Pevzner ME, Iofis MA, Popov VN. Geomechanics. Moscow: MGSU Publishing House, 2005 (In Russ.).
14. Kurlenya MV, Oparin VN. Problems of nonlinear geomechanics. Part I. *FTPRPI*. 1999;5:12–26 (In Russ.).

15. Sheinin VI. Interpretation of the components of spatial variability of the mechanical properties of a mountain range and assessment of their probabilistic characteristics. *Physico-technical problems of mining*. 1982;4:3-8 (In Russ.).
16. Sashurin AD. Shifting of rocks in the mines of ferrous metallurgy. Yekaterinburg: IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1999 (In Russ.).
17. Instructions for monitoring the movement of rocks and the Earth's surface during underground mining of ore deposits. Moscow: Nedra, 1988 (In Russ.).
18. Blokhin DI, Odincev VN, Sheinin VI. Results of spectral analysis of data characterizing the features of the distribution of rock deformations near underground workings. *GIAB*. 2007;9:146-52 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Наталья Александровна Федотенко –
канд. технических наук, старший научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии,
геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела», 83004,
г. Донецк, ДНР, Российская Федерация; старший научный
сотрудник Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт проблем комплексного освоения
недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии
наук (ИПКОН РАН), 111020, г. Москва, Российская
Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-9912-5529>,
e-mail: geo-science@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.10.2024.

Поступила после рецензирования: 26.10.2024.

Принята к публикации: 03.11.2024.

Article info

Received: 03.10.2024.

Revised: 26.10.2024.

Accepted: 03.11.2024.

ABOUT THE AUTHOR

Natalia A. Fedotenko –
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Republican Academic R&D
Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine
Surveying (RANIMI), 83004, Donetsk, DPR, Russian Federation;
Senior Researcher, Institute of Comprehensive Exploitation of
Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow,
Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9912-5529>,
e-mail: geo-science@mail.ru