



## Взаимосвязь геомеханики и недропользования с позиций законодательного определения термина «Недра»

А.Д. Сашурин, В.В. Мельник✉

Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ melnik@igduran.ru

**Резюме:** Представлена историческая справка развития науки «Геомеханика» в научной школе Института горного дела Уральского отделения РАН. Особое внимание отводится исследованиям напряженно-деформированного состояния массива горных пород и его изменениям в процессе эксплуатации объектов недропользования, играющего важнейшую роль в сохранности сооружений, безопасности недропользования, предупреждении катастрофических ситуаций. Для обеспечения безопасности недропользования используется комплекс методов исследования, включающий теоретические работы, физическое и компьютерное моделирование, геофизическое зондирование массива горных пород, наземные и спутниковые геодезические исследования деформационных процессов. Геомеханические исследования Института горного дела позволили получить новые знания о структуре массива горных пород, об изменчивости напряженно-деформированного состояния, его мозаичной структуре, определяемой процессом самоорганизации в иерархически блочном массиве, выявить истоки формирования аварийных и катастрофических ситуаций при недропользовании. Современные геомеханические исследования Института посвящаются разработке научного подхода и проведению районирования территорий по критерию опасности техно-природных катастроф при недропользовании, исследованию закономерностей процессов самоорганизации в массиве горных пород, разработке технологии выбора благоприятных мест размещения опасных и ответственных объектов недропользования. Особую роль играет прогноз возможных изменений напряженно-деформированного состояния во времени. Для его осуществления в исследованиях отдела геомеханики Института горного дела применяются натурные исследования структуры горного массива, геодезические исследования его подвижности, дистанционное зондирование при помощи спутниковой интерферометрии, компьютерное моделирование свойств и процессов, происходящих в массиве горных пород.

**Ключевые слова:** геомеханика, недропользование, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, иерархически блочная структура, литосфера, геодинамические движения, спутниковая геодезия

**Для цитирования:** Сашурин А.Д., Мельник В.В. Взаимосвязь геомеханики и недропользования с позиций законодательного определения термина «Недра». *Горная промышленность*. 2022;(1S):100–104. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-100-104.

## Relationship between Geomechanics and Subsoil Use from the Perspective of the Legislative Definition of the Term 'Subsoil'

A.D. Sashourin, V.V. Melnik✉

Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ melnik@igduran.ru

**Abstract:** The article presents a historical overview of the development of Geomechanics as a science in the re-search school of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. A particular attention is given to research into the stress-and-strain state of the rock mass and its changes in the course of operating the mining facilities, which plays a crucial role in securing the stability of structures, mining safety, and prevention of major accidents. To ensure the safety of mining, a complex of research methods is used, including theoretical studies, physical and computer modeling, geophysical sensing of rock masses, ground-surface and satellite geodetic studies of the deformation processes. Geomechanical studies carried out at the Institute of Mining helped to gain new insights into the structure of rock masses, variability of the stress-and-strain state, its mosaic structure as determined by the self-organization process within hierarchical block mass, to reveal the sources of emergencies and catastrophic events in mining. Current geomechanical research at the Institute is dedicated to the development of a scientific approach and execution of territory zoning using the criterion of technogenic and natural disasters in mining, studying regularities in the self-organization processes within the rock mass, development of technology to select favorable locations for hazardous and critical mining facilities. A special role is played by the prediction of possible changes in the stress-and-strain state over time. The Geomechanics Department of the Institute of Mining uses field studies of the rock mass structure, geodetic studies of its mobility, remote sensing using satellite interferometry, and computer simulation of the properties and processes that take place within the rock mass.

**Acknowledgments:** geomechanics, subsurface use, stress-and-strain state, rock mass, hierarchical block structure, lithosphere, geodynamic movements, satellite geodesy

**For citation:** Sashourin A.D., Melnik V.V. The Relationship between Geomechanics and Subsoil Use from the Perspective of the Legislative Definition of the Term 'Subsoil'. *Gornaya promyshlennost' = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):100–104. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-100-104.

**А.Д. Сашурин,**

доктор технических наук, профессор, научный руководитель направления геомеханики, главный научный сотрудник Института горного дела Уральского отделения РАН

**В.В. Мельник,**

кандидат технических наук, заведующий отделом геомеханики Института горного дела Уральского отделения РАН

## Введение

Потребность в геомеханике, первоначально как в практическом опыте, возникла одновременно с недропользованием, проникновением человека в массив горных пород, в недра, для извлечения полезных ископаемых и вызвана была необходимостью обеспечить безопасность пребывания человека в подземных условиях и в открытых разработках на земной поверхности, а также стремлением эффективно осуществлять добычу. Позднее, с развитием масштабов недропользования в XVIII–XX вв., она оформилась как один из важнейших разделов наук о Земле.

По современному сложившемуся определению геомеханика – наука, изучающая механическое состояние земной коры. Предметом ее является напряженно-деформированное состояние массива горных пород в естественном состоянии и закономерности трансформации в областях влияния недропользования. Возникнув из потребностей недропользования, она развивалась вместе с расширением его масштабов, с изменением роли в экономической жизни общества и влиянием на безопасные и комфортные условия жизни.

В обыденном плане, нередко и в настоящее время, под недропользованием подразумевают добычу полезных ископаемых. Такое понятие сложилось исторически, исходя из важности добычи минеральных ресурсов из недр в жизни человеческого общества. Для России эксплуатация богатств недр имеет особое значение. Наша страна является одним из крупнейших производителей минерального сырья, занимая ведущее место по его экспорту.

Однако, исходя из роли недр в современной жизни человека, представление о недропользовании, как о деятельности, связанной только с добычей полезных ископаемых, при всей ее важности, пожалуй, будет далеко не полно отражать роль и место недропользования. В соответствии с законодательством недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности, дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения, то есть на неопределенную глубину. Таким образом, вся деятельность в массиве гор-

ных пород ниже определенных законом границ связана с использованием недр и, следовательно, подпадает под понятие недропользование, существенно расширяя его сферу.

В самом деле, тоннели метрополитенов, железнодорожные, автомобильные и гидротехнические тоннели от горных выработок принципиально отличаются лишь функциональным назначением и соответствующим конструктивным исполнением. А с позиций возникновения катастроф, устойчивости, надежности и безаварийной эксплуатации они, как и горные выработки, зависят от процессов и явлений, происходящих в массиве горных пород, от того, насколько их параметры и принятые крепления соответствуют силовым нагрузкам, сопровождающим эти процессы и явления.

В отличие от тоннелей, являющихся, без сомнения, объектами недропользования, отнесение других объектов, неразрывно связанных с недрами, в том числе строительного комплекса, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также различного рода наземных и подземных коммуникационных сетей и других, на первый взгляд, кажется не столь очевидным. Но в действительности все капитальные сооружения своими основаниями, фундаментами и непосредственным размещением находятся в части массива горных пород, безусловно, относящейся к недрам. Заглубления в массив горных пород у современных зданий и сооружений, порой, сопоставимы, а иногда и превосходят параметры наземной части. И вопрос состоит не в размерах подземных и наземных объемов объектов и их соотношениях, а в том, что подземной частью, при любых ее параметрах, объекты связаны с процессами и явлениями, происходящими в массиве горных пород, и живут с недрами одной жизнью.

Таким образом, недра – более широкое понятие, чем полезные ископаемые, а недропользование как вид деятельности и его объекты занимают одно из ведущих мест в жизни человека. Будущее городов и населенных пунктов неразрывно связано с освоением и повышением роли подземного пространства, а обеспечение эффективности экономической деятельности, комфортного и безопасного проживания населения во многом определяется уровнем развития геомеханики.

Научное направление геомеханика существовало в Институте горного дела с момента его создания в 1939 г. в Уральском филиале АН СССР (тогда Горно-геологический институт). Первым его директором был академик Л.Д. Шевяков, один из основоположников отечественной геомеханики, методические разработки которого нередко встречаются в современных проектных работах и в горной практике. Основоположником современного научного направления и Уральской научной школы геомехаников является доктор технических наук, профессор М.Л. Рудаков, возглавивший в 1959 г. лабораторию горного давления и устойчивости бортов карьеров. Эстафету принял доктор технических наук, профессор Н.П. Влох, в настоящее время научное направление геомеханики, представленное специализированным отделом в составе четырех научных лабораторий, возглавляет научный руководитель направления доктор технических наук, профессор А.Д. Сашурин.

## Проблемы геомеханики

Эффективность и безопасность недропользования, являющегося важнейшим источником удовлетворения потребностей современного общества в сырье и материальных ресурсах, а также в создании комфортных и безопасных



условий проживания и проведения устойчивой безаварийной промышленно-экономической деятельности, во многом зависят от достоверности теоретических представлений о напряженно-деформированном состоянии и вызываемых им деформационных процессов в массиве горных пород. Актуальность этой взаимосвязи определяется ролью и местом, занимаемыми недропользованием в жизни общества.

Среди процессов и явлений, сопровождающих формирование напряженно-деформированного состояния при недропользовании, ключевая роль в развитии катастрофических ситуаций принадлежит деформационным процессам. Объединяя деформационные процессы в массиве горных пород при недропользовании в понятие сдвижение горных пород, один из основоположников российской геомеханики И.М. Бахурин отмечал в начале прошлого века: «Сдвижение пород в руднике является одним из основных затруднений при добыче полезного ископаемого. Оно же является одной из основных угроз безопасному ведению горных разработок: оно ломает крепление, уменьшает полезное сечение выработок, а иногда и совершенно заваливает их. Мы не ошибемся, если скажем, что вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением горных пород» [1].

Начало научных исследований и дискуссий по формированию напряженно-деформированного состояния массива горных пород при ведении горных разработок П.М. Леонтовский и И.М. Бахурин относят к 1838–1858 гг., когда была предпринята попытка научно объяснить повреждение жилых домов в городе Льеже вследствие ведения добычи угля подземным способом под городом. Ученые в области геомеханики того времени наделяли массив только его собственным весом, не предполагая в нем никаких других напряжений и деформаций [1; 2].

Очередным шагом в развитии представлений о параметрах напряженно-деформированного состояния массива горных пород в конце девятнадцатого века явилась гипотеза швейцарского геолога-гляциолога А. Гейма [3]. Согласно его гипотезе вертикальные напряжения и деформации в массиве горных пород в естественных условиях, не подверженных влиянию техногенной деятельности, также определяются весом налегающих пород, но в дополнение к ним дополнительно возникают горизонтальные компоненты, боковой распор, обусловленный допускаемыми в его гипотезе некоторыми пластичными свойствами массива. В последующем в ней предлагалось дифференцировать боковой распор за счет сохранения упругих свойств массива [4]. Простота гипотезы обеспечила ей продолжительный период применения в горной практике. Несмотря на серьезные расхождения с экспериментальными исследованиями напряженно-деформированного состояния в природных условиях, широко проводившимися в середине прошлого века и выявившими горизонтальные тектонические составляющие, нередко превышающие гравитационные, гипотеза А. Гейма с некоторыми поправками по боковому распору нередко применяется в современных проектах недропользования.

Углубленные исследования структуры массива горных пород, выявившие основополагающее его свойство – иерархически блочное строение, внесли новые представления о формировании напряженно-деформированного состояния, в частности, дискретность и неоднородность поля напряжений и деформаций [5; 6].

Последующее внедрение в практику геомеханических исследований технологии спутниковой геодезии позволило установить второе основополагающее свойство массива горных пород – его постоянную подвижность под воздействием современных геодинамических движений [7–12].

Таким образом, проведенные многими поколениями геомехаников исследования приблизили теоретические представления к реальным процессам и явлениям, сопровождающим недропользование.

### Методы исследования

Сложность процессов и явлений, сопровождающих недропользование, проистекающих от экзогенных и эндогенных факторов, определяют междисциплинарный подход к решению геомеханических проблем и привлечение методов из других научных направлений. В современной практике, как и в предыдущие периоды, не потеряли своего значения теоретические исследования, а также методы физического моделирования, в том числе на эквивалентных и фотоупругих материалах. Все большее место в исследованиях в последние годы отводится компьютерному моделированию.

Несмотря на все расширяющееся внедрение методов, основанных на компьютерных технологиях, по-прежнему не теряют своего значения как основного источника информации о реальном массиве и происходящих в нем процессах экспериментальные натурные методы по измерениям напряжений и деформаций, в том числе исследования структуры массива горных пород геофизическими методами зондирования.

Значительный шаг в познании закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород и верхней части литосферы на разных масштабных уровнях обеспечило внедрение в геомеханические исследования наземных и спутниковых геодезических технологий мониторинга деформационных процессов, позволившее выявить новые знания о неоднородности напряженно-деформированного состояния по земной территории и изменчивости во времени [13].

### Современные представления об основополагающих свойствах и состоянии массива горных пород

Современные представления о состоянии массива горных пород и происходящих в нем процессах, определяющих во многом эффективность и безопасность недропользования, основываются на двух основополагающих свойствах массива горных пород, установленных в результате многолетних предшествующих исследований в геомеханике:

- иерархически блочной структуре, присущей в полной мере всем крепким скальным породам и на определенном уровне проявляющейся в слабых осадочных породах;
- непрерывной подвижности блоков, вызванной современными геодинамическими движениями циклического и трендового характера.

Под влиянием современных геодинамических движений иерархически блочный массив горных пород претерпевает процесс самоорганизации, формирующий временно консолидированные блоки и соответствующее мозаичное, неоднородное поле напряженно-деформированного состояния. Особую опасность для объектов недропользования представляют граничные области образовавшихся вторичных структур, где явления концентрации и депрессии могут вызвать отклонения параметров напряжений и



деформаций, в 2–5 раз отличающиеся от усредненных интегральных и внутриблочных значений.

Установленные представления о реальном напряженно-деформированном состоянии позволяют выявить истоки и причины аварийных и катастрофических событий в практике недропользования, не находящие объяснения с позиций однородной структуры полей напряжений и деформаций. Знание истоков и причин аварий и катастроф открывает возможности принятия мер по их предупреждению [14].

#### Задачи современного этапа развития геомеханики

Полученные результаты фундаментальных и прикладных исследований выдвигают перед геомеханикой новые проблемы и задачи, направленные на выполнение основной ее цели – обеспечение эффективности и безопасности недропользования, входящей составной частью в обеспечение безопасного и комфортного проживания населения, в том числе:

- разработать научный подход и провести районирование территорий по критерию опасности техно-природных катастроф под воздействием современных геодинамических движений;
- исследовать закономерности формирования самоорганизующихся блоков;
- разработать методы исследования деформационных процессов на разных территориальных масштабах;
- разработать методы исследования структуры массива горных пород дистанционным зондированием;
- разработать технологию выбора благоприятных мест размещения объектов недропользования и предотвращения техно-природных катастроф.

#### Заключение

Безопасность и эффективность сферы недропользования, которым посвящается научная и практическая работа отдела геомеханики, во многом определяются соответствием представлений о напряженно-деформированном состоянии, используемых в практической деятельности, реальным процессам и явлениям, происходящим в естественном массиве горных пород и в областях влияния недропользования.

Результаты длительных научных исследований свидетельствуют, что реальное напряженно-деформированное состояние массива горных пород существенно отличается от теоретических гипотез и представлений, бытовавших на разных этапах развития науки геомеханики, рассматривавших массив горных пород как сплошную однородную среду с соответствующим однородным неразрывным постоянным во времени полем напряжений и деформаций. Современные представления о формировании напряженно-деформированного состояния, учитывающие влияние двух основных факторов – иерархически блочной структуры массива горных пород и его непрерывную подвижность под воздействием современных геодинамических движений, приближают теоретические представления к реальным условиям. В соответствии с ними реальное поле напряженно-деформированного состояния имеет дискретную, неоднородную, мозаичную структуру, изменяющуюся во времени. Использование этого представления повышает эффективность принятия мероприятий по предупреждению аварий и катастроф при недропользовании.

#### Список литературы

1. Бахурин И.М. *Сдвигание горных пород под влиянием горных разработок*. М., Л.: Гостопиздат; 1946. 229 с.
2. Леонтовский П.М. *Литература об обрушении и оседании пород в рудниках и о влиянии их на дневную поверхность*. Екатеринбург; 1912. 320 с.
3. Heim A. *Mechanismus der Gebirgsbildung*. Bale; 1878. Available at: <https://archive.org/details/untersuchungenb01heimgoog/page/n5/mode/2up>
4. Динник А.Н. Применение теории упругости к решению задач, относящихся к проблеме управления кровлей. В кн.: *Материалы к совещанию по проблеме управления кровлей*. М., Л.: Изд-во АН СССР; 1937. С. 11–24.
5. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. *Доклады Академии наук СССР*. 1979;247(4):829–831.
6. Sas I.E., Cherepetskaya E.B., Pavlov I.A. solving problems in geomechanics: comparison of the fidesys strength analysis system and the plaxis software package. *Key Engineering Materials*. 2017;755:328–332. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.755.328>
7. Кузьмин Ю.О. *Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании*. М.: Агентство экологических новостей; 1999. 220 с.
8. Sambo C., Akanni O.A., Iferobia C.C., Babasafari A.A., Rezaei S. The role of time lapse(4d) seismic technology as reservoir monitoring and surveillance tool: a comprehensive review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020;80:103312. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103312>
9. Manchanda R., Zheng S., Hirose S., Sharma M.M. Integrating reservoir geomechanics with multiple fracture propagation and proppant placement. *Society of Petroleum Engineers Journal*. 2020;25(02):662–691. <https://doi.org/10.2118/199366-PA>
10. Сашурин А.Д., Усанов С.В., Мельник В.В. и др. Геодинамический фактор в формировании депрессионно-деструктивных областей в массиве горных пород. В кн.: Чанышев А.И. (ред.) *Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при разработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: сб. тр. 2-й Российско-Китайской науч. конф., Новосибирск, 2–5 июля 2012 г.* Новосибирск: ИГД СО РАН; 2012. С. 256–260.
11. Мельников Н.Н. (ред.) *Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2012. 632 с.
12. Han J., Zhang H., Liang B., Rong H., Lan T., Liu Y., Ren T. Influence of large syncline on in situ stress field: A case study of the Kaiping Coalfield, China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016;49(11):4423–4440. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1039-4>
13. Панжин А.А., Сашурин А.Д., Панжина Н.А., Ефремов Е.Ю. Организация деформационного мониторинга земной поверхности Узельгинского и Талганского месторождений. *Горная промышленность*. 2017;(5):48–53. Режим доступа: <https://>



mining-media.ru/ru/article/geoinformsys/13007-organizatsiya-deformatsionnogo-monitoringa-zemnoj-poverkhnosti-uzelginskogo-i-talganskogo-mestorozhdenij

14. Сашурин А.Д., Мельник В.В. Природно-техногенные катастрофы на горных предприятиях: Истоки и пути предупреждения. *Проблемы недропользования*. 2020;(4):5–13. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.005>

## References

1. Bakhurin I.M. *Rock displacement due to mining activities*. Moscow, Leningrad: Gostopizdat; 1946. 229 p. (In Russ.)
2. Leontovsky P.M. *Literature on rock caving and subsidence in mines and their effects on the daylight surface*. Ekaterinoslav; 1912. 320 p. (In Russ.)
3. Heim A. *Mechanismus der Gebirgsbildung*. Bale; 1878. Available at: <https://archive.org/details/untersuchungenb01heimgoog/page/n5/mode/2up>
4. Dinnik A.N. Application of the elasticity theory to resolve challenges related to the roof control issues. In: *Materials for the meeting on roof control challenges*. Moscow, Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1937, pp. 11–24. (In Russ.)
5. Sadovsky M.A. Natural size of rock lumps. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1979;247(4):829–831. (In Russ.)
6. Sas I.E., Cherepetskaya E.B., Pavlov I.A. solving problems in geomechanics: comparison of the fidesys strength analysis system and the plaxis software package. *Key Engineering Materials*. 2017;755:328–332. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.755.328>
7. Kuzmin Yu.O. *Modern geodynamics and geodynamic risk assessment in mining operations*. Moscow: Agentstvo ekologicheskikh novostei; 1999. 220 p. (In Russ.)
8. Sambo C., Akanni O.A., Iferobia C.C., Babasafari A.A., Rezaei S. The role of time lapse(4d) seismic technology as reservoir monitoring and surveillance tool: a comprehensive review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020;80:103312. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103312>
9. Manchanda R., Zheng S., Hirose S., Sharma M.M. Integrating reservoir geomechanics with multiple fracture propagation and proppant placement. *Society of Petroleum Engineers Journal*. 2020;25(02):662–691. <https://doi.org/10.2118/199366-PA>
10. Sashourin A.D., Usanov S.V., Melnik V.V. et al. The geodynamic factor in formation of depression-destructive zones within rock mass. In: Chanyshev A.I. (ed.) *Non-linear geomechanical and geodynamic processes in mining of deep-lying mineral deposits: Proceedings of the 2nd Russian-Chinese scientific conference, Novosibirsk, July 2–5, 2012*. Novosibirsk: Institute of Mining of Ural Branch of RAS; 2012, pp. 256–260. (In Russ.)
11. Melnikov N.N. (ed.) *Destruction of Earth crust and self-organization processes within areas of strong anthropogenic impact*. Novosibirsk: Siberian Branch of RAS; 2012. 632 p. (In Russ.)
12. Han J., Zhang H., Liang B., Rong H., Lan T., Liu Y., Ren T. Influence of large syncline on in situ stress field: A case study of the Kaiping Coalfield, China. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016;49(11):4423–4440. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1039-4>
13. Panzhin A.A., Sashourin A.D., Panzhina N.A., Efremov E.Y. Organization monitoring of deformations of earth's surface on the uzelninsky and the Talganskoe ore deposits. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2017;(5):48–53. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/geoinformsys/13007-organizatsiya-deformatsionnogo-monitoringa-zemnoj-poverkhnosti-uzelginskogo-i-talganskogo-mestorozhdenij>
14. Sashourin A.D., Melnik V.V. Natural and man-made disasters at mining enterprises: sources and ways of prevention. *Problemy nedropolzovaniya*. 2020;(4):5–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.005>

### Информация об авторах

**Сашурин Анатолий Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, научный руководитель направления геомеханики, главный научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: sashour@igd.uran.ru

**Мельник Виталий Вячеславович** – кандидат технических наук, заведующий отделом геомеханики, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: melnik@igduran.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.10.2021

Поступила после рецензирования: 25.10.2021

Принята к публикации: 28.10.2021

### Information about the authors

**Anatoly D. Sashourin** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Geomechanics Research Manager, Principal Researcher, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: sashour@igd.uran.ru

**Vitaly V. Melnik** – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Geomechanics, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: melnik@igduran.ru

### Article info

Received: 03.10.2021

Revised: 25.10.2021

Accepted: 28.10.2021