

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ СМЕРЗШИХСЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД НА СРЕЗ

М. С. Максимов¹, С. В. Панишев¹, Е. Л. Алькова¹

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация: Для условий разработки месторождений зоны многолетней мерзлоты характерна отрицательная температура горных пород, предопределяющая их повышенную прочность и необходимость применения буровзрывного рыхления для их предварительного разрушения. Известно, что после взрыва мерзлая порода повторно смерзается и негативно влияет на работу выемочного оборудования вплоть до вынужденной остановки. Поэтому достоверная оценка прочностных характеристик смерзшихся вскрышных горных пород очень важна для правильного выбора экскаватора и прогноза эффективности и режима его работы в данных условиях. В статье представлены результаты лабораторных исследований прочности смерзшихся образцов горных пород на срез в зависимости от размера включений в естественном и уплотненном нагружкой 1,6 и 3,1 МПа при максимальных и минимальных значениях влажности и температуры. В результате проведенных исследований на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, установлено, что размер включений в образцах нарушенной структуры при минимальных значениях влажности и температуры не имеет существенного влияния на прочностные характеристики. Отмечено, что взорванный массив многолетнемерзлых пород в условиях повторного смерзания является сложной средой, которая обладает свойствами как нарушенного, так и однородного массива горных пород.

Ключевые слова: повторное смерзание, вскрышные породы, мерзлые породы, криолитозона, прочность на срез, нарушенная структура, размер включений, плотность упаковки.

Для цитирования: Максимов М. С., Панишев С. В., Алькова Е. Л. Исследование влияния размеров включений на прочность смерзшихся образцов горных пород на срез // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12–1. – С. 139–147. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_139.

Effect of size of inclusions on shearing strength of frozen rock samples

M. S. Maksimov¹, S. V. Panishev¹, E. L. Alkova¹

¹ Mining Institute of the North named N. V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Abstract: Mining in the permafrost zone is typically carried out under negative temperatures, which conditions the higher strength of permafrost rocks and dictates their preliminary loosening blasting. After blasting, broken frozen rocks can regelate again, which affects operation of mining machines, up to their involuntary stop. Thus, it is critical to have a reliable estimate of strength of frozen overburden for the correct selection of an excavating machine as well as for

the prediction of its mode and efficiency in given conditions. This paper presents the lab-scale shearing strength test data of frozen rocks in natural condition and after compaction under the pressure of 1.6 and 31. MPa at maximum and minimum values of moisture content and temperature and depending on size of inclusions. The tests of samples structurally comparable with broken rock mass show that the size of inclusions has no significant influence on strength of the samples at minimum moisture content and temperature. It is emphasized that broken permafrost rocks after regelation is a complex medium which possesses properties both of dislocated and uniform rock mass.

Key words: regelation, overburden, frozen rocks, permafrost zone, shearing strength, dislocated structure, size of inclusions, packing density.

For citation: Maksimov M. S., Panishev S. V., Alkova E. L. Effect of size of inclusions on shearing strength of frozen rock samples. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12–1):139–147. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_139.

Введение

Зона многолетней мерзлоты занимает более 65% территории России, а в Республике Саха (Якутия) — 95%. При разработке месторождений в условиях вечной мерзлоты в сочетании с суровым климатическим условием Якутии основным фактором, влияющим на производительность выемочного оборудования, является прочность взорванного массива горных пород.

Исследования прочностных характеристик пород и грунтов играют важную роль в развитии не только горной промышленности, но и различных отраслей промышленности, строительства и науки [1–7].

В горной промышленности прочностные характеристики горных пород используются в решении многих важных задач при разработке месторождений подземным и открытым способами. От данных характеристик зависит не только рациональность, эффективность разработки месторождения, но и безопасность ведения горных работ. Одной из работ, в которой определяются прочностные характеристики горных пород для оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров, является натурные полевые исследования казахстанских ученых [8]. Исследования направлены на достоверную

оценку прочностных характеристик натурными испытаниями породных призм, которые нарезают непосредственно в массиве. Испытания проводили с помощью специальной сдвиговой конструкции, нарезку породных призм подготавливали буровым станком. Считается, что такие исследования в натуральных условиях является одним из самых достоверных.

В работе [9] рассматривается возможность создания устойчивой льдопородной закладки в руднике Бадран путем исследования влияния формы частиц заполнителя на прочность льдопородной закладки. По результатам проведенных испытаний установили, что предел прочности образцов льдопородного материала на одноосное сжатие при увеличении содержания частиц пластинчатой и игловатой форм в наполнителе с 10% до 40% снижается в 1,5 раза. Снижение прочности происходит вследствие увеличения пустотности в промораживаемом материале с большим количеством частиц пластинчатой и игловатой форм.

Зарубежными учеными проведены серии испытаний на одноосное сжатие призматического песчаника, содержащего предварительно изготовленное отверстие, которое заполняется различными типами включений с помощью

гидравлической машины. После регистрации и анализа процессов деформации и трещин в песчанике методом корреляции цифровых изображений (DIC) и акустической эмиссии (АЕ) установили, что как тип включения, так и форма являются важными факторами, влияющими на прочностные и деформационные свойства песчаника [10]. Результаты показывают, что заполняющие материалы оказывают значительное влияние на зарождение и распространение трещин. Типы трещин в значительной степени зависят от формы и типа включений в результате резких изменений в распределении напряжений вокруг включений.

В работах российских ученых отмечено, что форма, количество, состав и пространственное расположение включений влияет на прочностные и деформационные характеристики грунта [11, 12]. Так, в работе Д. И. Могилицевой были проведены лабораторные испытания на сдвиг и сжатие образцов, сформированных из песка и разных включений разного размера, материала (стекло, сталь) и формы (шарик, цилиндр). По результатам испытаний сдвига и сжатия установили, что, чем крупнее и мягче включения, тем больше затраты энергии на их перемещение и тем больше их наличие сказывается на показателях сдвига и сжатия.

Исследования на искусственных смесях суглинка и дресвы на сдвиговом приборе провели Р. К. Кульжигитов и В. А. Козионов, которые установили, что диаметр включений не оказывает существенного влияния на параметры прочности грунта, и по результатам своих исследований получили эмпирические соотношения для параметров прочности.

С учетом того, что горные породы криолитозоны при значительных объемах их разработки всегда требуют пре-

дарительного буровзрывного рыхления, знание изменчивости свойств взорванного массива необходимо не только для прогноза снижения производительности выемочной техники, но также и для управления его свойствами через параметры буровзрывных работ.

В лаборатории ОГР ИГДС СО РАН на протяжении ряда лет проводятся натурные и лабораторные исследования процесса повторного смерзания взорванной горной массы и его влияния на ведение горных работ в условиях месторождений криолитозоны. В результате натурных исследований установлены: особенности тепловое режима в развале взорванных многолетнемерзлых горных пород в разные периоды года (весна-лето, осень-зима) при последовательном обнажении забоя; взаимосвязь производительности драглайна с температурой поверхностного слоя горных пород взорванного массива при последовательном обнажении забоя; время цикла драглайна для разных периодов года предложено определять по отдельным эмпирическим зависимостям; взаимосвязь производительности драглайна от температуры поверхностного слоя взорванного массива и размера среднего куска при последовательном обнажении забоя.

Одной из важных задач является исследование прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез. Исследования ведутся согласно специально разработанной методике «Методика исследования прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез» [13].

Целью исследований является установление зависимости изменения прочности смерзшихся вскрышных пород на срез от влажности, температуры, плотности упаковки, а также при различной структуре образца с разными размерами включений. Отличительная особенность

этих исследований заключается в том, что оценка прочности смерзающихся вскрышных горных пород на срез выполняется на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом, у которых отсутствует подготовленная плоскость смерзания [14].

Материал и методы исследования

Испытания прочности смерзшихся вскрышных пород на срез проводились на испытательном стенде, сконструированном в ИГДС СО РАН. Конструктивно стенд разработан как лабораторный стол со срезной коробкой и жесткой рамой для надежности конструкции. Срезная коробка имеет нижнюю неподвижную и верхнюю подвижную часть, на которую помещается подготовленный цилиндрический образец с диаметром 350 мм и высотой 175 мм. Образцы для испытаний изготавливались из вскрышных пород, представленных песками и песчаниками Кангаласского буроугольного месторождения. Для приготовления образцов, структурно сопоставимых с взорванным массивом, в первую очередь изготавливались включения в решетчатом поддоне и замораживались до определенной температуры в соответствии с условиями испытания. Для изготовления цилиндрического образца для испытаний мерзлые включения перемешивались с песчаником в талом состоянии (со связующим), затем укладывались в разъемную цилиндрическую форму (гильза) и помещались в климатическую камеру, где замораживались до заданной отрицательной температуры. После замораживания гильза разбиралась, укладывалась в срезную коробку, закрывалась верхней подвижной обоймой, и подготовленный образец подвергался испытанию на стенде. Затем полученные значения давления с помощью про-

граммы «Digital Master» обрабатывались, и рассчитывались пределы прочности на срез. Испытания на прочность среза проводились на шести образцах, затем выполнялась статистическая обработка полученных значений, и находилось среднее значение предела прочности на срез при одном условии эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

К настоящему времени проведено немалое количество экспериментальных исследований по оценке прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез при варьировании параметров основных влияющих факторов: температуры и влажности образцов пород, размера включений образца, нормального давления при формировании образца [15]. Для установления характера изменения прочности на срез от влияющих факторов и оценки степени влияния определенного фактора проведены испытания на образцах песчаников однородной и нарушенной структуры. Размеры включений на образцах нарушенной структуры составляли 40х40х40 мм и 20х20х20 мм. Результаты испытаний прочности на срез образцов однородной структуры, а также диапазон изменения основных влияющих факторов приведены в табл. 1.

Обобщенные результаты полученных экспериментальных данных указывают на следующее:

- на изменение прочности смерзшихся вскрышных горных пород на срез в основном влияют влажность, температура и плотности упаковки;
- при увеличении влажности и плотности упаковки прочность смерзшихся вскрышных горных пород на срез увеличивается, а при повышении температуры — уменьшается;

Таблица 1

Результаты испытаний прочности на срез образцов однородной структуры
Results of shear strength tests of samples of homogeneous structure

Влажность 15%			
Температура сморазживания	Уплотнение образца		
	Б/У	1,6 МПа	3,1 МПа
	σ среза	σ среза	σ среза
-5	0,2	0,77	1,08
-10	0,28	1,17	1,77
-15	0,34	1,65	2,13
Влажность 10%			
Температура сморазживания	Уплотнение образца		
	Б/У	1,6 МПа	3,1 МПа
	σ среза	σ среза	σ среза
-5	0,08	0,36	0,62
-10	0,12	0,5	1,01
-15	0,16	0,81	1,24
Влажность 5%			
Температура сморазживания	Уплотнение образца		
	Б/У	1,6 МПа	3,1 МПа
	σ среза	σ среза	σ среза
-5	0,07	0,11	0,12
-10	0,1	0,16	0,23
-15	0,1	0,19	0,26

– образец, структурно сопоставимый с взорванным массивом, возможно изготовить при следующих минимальных значениях влажности и температуры – 10%, –5 °С;

– при изготовлении образцов 5% влажности не формируются включения не зависимо от размера;

– существует главное различие характера среза образцов нарушенной структуры от однородной структуры. В образцах нарушенной структуры срез происходит постепенно с появлением трещин и монотонным уменьшением нагрузки после сдвига, а в образцах однородной структуры срез происходит в максимальном значении, нагрузка резко падает до нулевого значения и сопровождается характерным звуком при сдвиге.

На рис. 1 представлены результаты полученных данных пределов проч-

ности на срез образцов однородной и нарушенной структуры с включениями различного размера и плотности упаковки при влажности 10% и температуры –5°С.

Приведенные данные показывают, что значения пределов прочности на срез образцов нарушенной структуры с различными включениями практически похожие. Следовательно, можно сделать вывод, что влияние размера включений образцов нарушенной структуры на прочность на срез не существенно. Значение предела прочности на срез образцов однородной структуры, подвергшихся уплотнению нагрузкой 1,6 МПа и 3,1 МПа, больше примерно 1,4 раза от значений пределов прочности на срез образцов нарушенной структуры.

Таким образом, установлено, что размер включений в образцах нару-

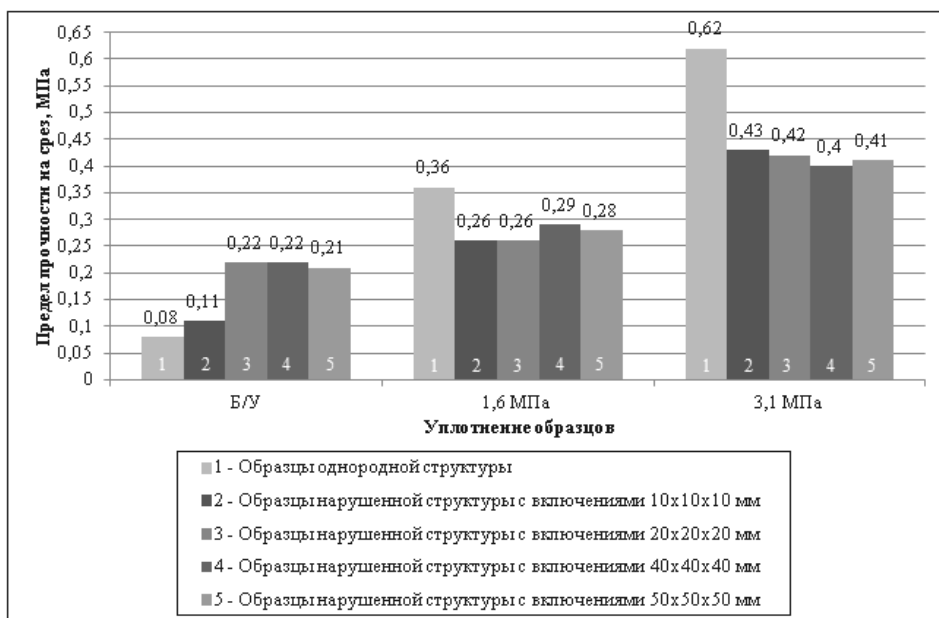


Рис. 1. Зависимость прочности на срез от размера включений образцов нарушенной структуры при влажности образцов 10% и температуре -5°C

Fig. 1. Dependence of the shear strength on the size of inclusions of samples of the disturbed structure at a sample humidity of 10% and a temperature of -5°C

шенной структуры при минимальных значениях влажности и температуры не имеет существенного влияния на прочностные характеристики. Прочность на срез увеличивается только при увеличении величины нагрузки уплотнения.

При максимальных значениях влажности 15% и температуры -15°C значения прочностей на срез образцов нарушенной структуры наблюдается зависимость от размера включений (рис. 2). Значение прочности на срез образцов нарушенной структуры уменьшается с увеличением размера включений от $20\times 20\times 20$ мм до $50\times 50\times 50$ мм. В естественном состоянии (без уплотнения) предел прочности на срез образцов увеличивается при увеличении размеров включений от $10\times 10\times 10$ мм до $20\times 20\times 20$ мм и уменьшается при увеличении размера включений от $20\times 20\times 20$ мм до $50\times 50\times 50$ мм.

При максимальных значениях условий проведения испытаний наблюдается уменьшение прочности на срез при увеличении размера включений в образцах нарушенной структуры. Результаты испытаний показали, что значения пределов прочности на срез уплотненных образцов однородной структуры заметно больше, чем в образцах нарушенной структуры при тех же условиях испытаний. Объясняется это тем, что при добавлении включений в образце нарушенной структуры внутри образца образуются пустоты, уменьшаются сцепления между отдельными зернами породы, которые приводят к снижению прочности на срез. Следует отметить, что значения прочности на срез уплотненных образцов нагрузкой 3,1 МПа образцов нарушенной структуры с различным размером включений сопоставимы со значениями прочности на срез уплотненных

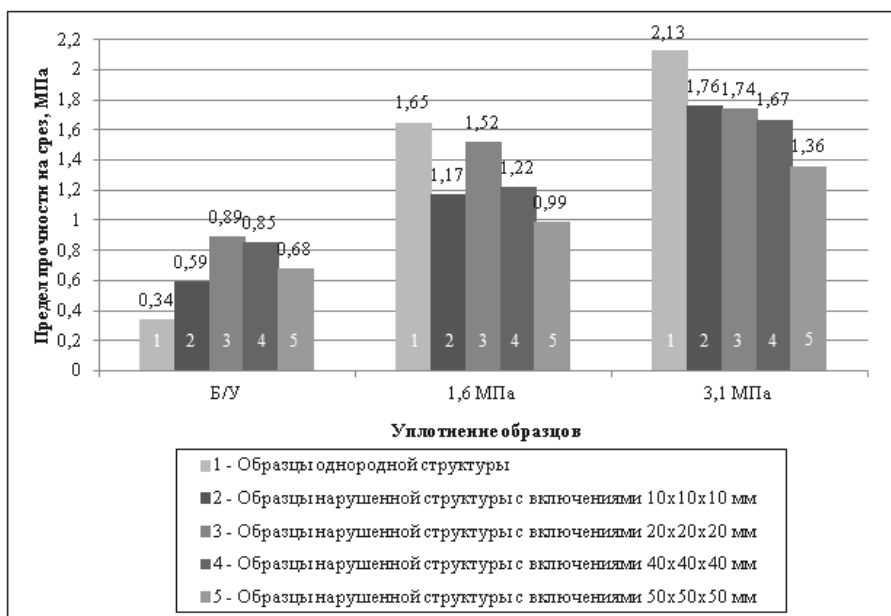


Рис. 2. Зависимость прочности на срез от размера включений образцов нарушенной структуры при влажности образцов 15% и температуре -15°C

Fig. 2. Dependence of the shear strength on the size of inclusions of samples of the disturbed structure at a sample humidity of 15% and a temperature of -15°C

нагрузкой 1,6 МПа образцов однородной структуры.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что взорванный массив многолетнемерзлых пород, склонный к повторному смерзанию, является сложной средой, обладающей свой-

ствами как нарушенного, так и однородного массива. Основываясь на этом, можно считать, что поверхностный развал взорванного массива обладает свойствами нарушенной структуры массива горных пород, а нижняя часть развала (подошва) вследствие усилия давления вышележащих пород — свойствами однородного массива горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колечкина А. Ю., Захаров А.В Планирование эксперимента по определению зависимости прочностных характеристик песчаных грунтов от температуры // Химия. Экология. Урбанистика. — 2017 — Т.2017. — С. 257—260.
2. De Zhanga, Enlong Liua, Xingyan Liua, Ge Zhanga, Bingtang Songa. A new strength criterion for frozen soils considering the influence of temperature and coarse-grained contents. Cold Regions Science and Technology, 2017, № 143, pp. 1–12.
3. Шабает С. Н. Влияние крупности частиц однородной сыпучей зернистой среды на прочностные характеристики. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.— 2020. — Т.18. — № 2. — С. 62—70.
4. Anvari S. M., Shooshpasha I., Kutanaei S. S. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2017, volume 9, issue 5, pp. 936—944.

5. Yang Yugui, GaoFeng, Lai Yuanming, Cheng Hongmei. Experimental and theoretical investigations on the mechanical behavior of frozen silt. *Cold Regions Science and Technology*, 2016, № 130, pp. 59–65.

6. Алимсеитов Д. Н. Изучение прочностных характеристик крупнообломочного грунта и модели крупнообломочного грунта / Алимсеитов Д. Н., Горбачев А. Г., Рыспаев Б. С., Сагыбекова А. О. // Проблемы науки. – 2018. – № 12 (36). – С. 34–37.

7. Шипарев Р. Г., Стоянович Г. М. Повышение прочностных характеристик суглинистого грунта криотропным гелеобразованием // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке.– 2017. – Т.2. – С. 42–46.

8. Низаметдинов Ф. К. Натурные методы исследования прочностных свойств горных пород и породных контактов / Низаметдинов Ф. К. Нагибин А. А. Левашов В. В. [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2016. – № 2. – С. 26–33.

9. Петров Д. Н., Петров А. Н. Характер влияния формы частиц заполнителя на прочность льдопородной закладки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 8. – С. 379–383.

10. Quanqi Zhu, Diyuhan Li, Zhenyu Han, Xibing Li, Zilong Zhou Mechanical properties and fracture evolution of sandstone specimens containing different inclusions under uniaxial compression. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2019, № 115, pp. 33–47.

11. Мозилевцева Д. И. Влияние формы, количества, состава и пространственного расположения включений на прочностные и деформационные характеристики геокомпозита // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2012. – № 4. – С. 371–375.

12. Кульжигитов Р. К., Козионов В. А. Влияние включений дресвы на прочность глинистых грунтов при одноплоскостном сдвиге // Наука и техника Казахстана. – 2007. – № 3. – С. 57–63.

13. Алькова Е. Л. Экспериментальные исследования прочности на срез мерзлых горных пород на образцах большого размера / Алькова Е. Л., Панишев С. В., Максимов М. С., Козлов Д. С. // Успехи современного естествознания – 2016. – №8 – С. 145–149.

14. Максимов М. С., Козлов Д. С. Подготовка образцов смерзшихся горных пород для испытаний прочности на срез. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 297–300. – DOI: 10.15372/FPVGN2019060350.

15. Панишев С. В. Исследование прочностных характеристик мерзлых образцов однородной и нарушенной структуры / Панишев С. В., Максимов М. С., Алькова Е. Л. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11–2. – С. 383–388. **ИДБ**

REFERENCES

1. Kolechkina A.Yu., Zakharov A. V. Planning experimentation to identify the relation characteristic of sandy soil temperature. *Himiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2017, Vol. 2017, pp. 257–260. [In Russ]

2. De Zhanga, Enlong Liua, Xingyan Liua, Ge Zhanga, Bingtang Songa. A new strength criterion for frozen soils considering the influence of temperature and coarse-grained contents. *Cold Regions Science and Technology*, 2017, no. 143, pp. 1–12.

3. Shabaev S. N. Influence of the size of uniformly graded bulk media particles on strength characteristics. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova*. 2020, vol. 18, no. 2, pp. 62–70. [In Russ]

4. Anvari S. M., Shooshpasha I., Kutanaei S. S. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2017, volume 9, issue 5, pp. 936–944.

5. Yang Yugui, GaoFeng, Lai Yuanming, Cheng Hongmei. Experimental and theoretical investigations on the mechanical behavior of frozen silt. *Cold Regions Science and Technology*, 2016, no. 130, pp. 59–65.

6. Alimseitov D. N., Gorbachev A. G., Ryspaev B. S., Sagybekova A. O. Study of the strength characteristics of coarse-grained soil and the model of coarse-grained soil. *Problemy nauki*. 2018, no. 12 (36). pp. 34–37. [In Russ]
7. Shiparev R. G., Stoyanovich G. M. *Povyshenie prochnostnykh harakteristik suglinistogo grunta kriotropnym geleobrazovaniem* [Enhancement of strength characteristics of the loamy soil by cryotropic gelation]. Scientifically technical and economical cooperation in Asia-Pacific Countries in the 21st century. 2017, vol.2. pp. 42–46. [In Russ]
8. Nizametdinov F. K., Nizametdinov R. F., Nagibin A. A., Kasymzhanova A. Ye., Dzhamantykova R. N. In-situ techniques of rock and rock contacts strength properties testing. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2016, vol. 52. no. 2. pp. 226–232. [In Russ]
9. Petrov D. N., Petrov A. N. Nature of influence particle shape backfill material of strength the ice-rock filling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. 8. pp. 379–383. [In Russ]
10. Quanqi Zhu, Diyuan Li, Zhenyu Han, Xibing Li, Zilong Zhou Mechanical properties and fracture evolution of sandstone specimens containing different inclusions under uniaxial compression. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2019, no. 115, pp. 33–47.
11. Mogilevtseva D. I. Influence of shape, quantity, composition and spatial distribution of inclusions on strength and deformation properties of geocomposite. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2012, no. 4. pp. 371–375. [In Russ]
12. Kulzhigitov R. K., Koizionov V. A. Influence of inclusions of gruss on the strength of clay soils at uniplanar shear. *Nauka i tekhnika Kazahstana*. 2007. no. 3. pp. 57–63. [In Russ]
13. Alcova E. L., Panishev S. V. 1, Kozlov D. S., Maksimov M.S Experimental research on shear strength of frozen rocks on large samples. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016. no. 8. pp. 145–149. [In Russ]
14. Macsimov M. S., Kozlov D. S. Preparation of samples of freezing rocks for tests shear strength. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*. 2019, vol. 6, no. 3. pp. 297–300. DOI: 10.15372/FPVGN2019060350. [In Russ]
15. Panishev S. V., Maksimov M. S., Alkova E. L. Study of the strength characteristics of frozen samples of homogeneous and disturbed structure. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. no. 11-2. pp. 383–388. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Максимов М. С.¹ – м.н.с., mexes_07@mail.ru;

Панишев С. В.¹ – канд. техн. наук, в.н.с., bsdpsv@mail.ru;

Алькова Е. Л.¹ – канд. техн. наук, с.н.с., nelealc12@rambler.ru;

¹ Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43

Для контактов: Максимов М. С. e-mail: mexes_07@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maksimov M. S.¹, Junior Researcher, mexes_07@mail.ru;

Panishev S. V.¹, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, bsdpsv@mail.ru;

Alkova E. L.¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, nelealc12@rambler.ru;

¹ Mining Institute of the North named N. V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia, the Republic of Sakha (Yakutia), 43 Lenin ave, Yakutsk, 677980.

Corresponding author: Maksimov M. S., e-mail: mexes_07@mail.ru.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 18.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 18.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.