

ВЛИЯНИЕ ЩЕБНЯ ИЗ МАГНИЙСИЛИКАТНЫХ ПОРОД НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕТОНОВ

Л.И. Худякова¹, И.Ю. Котова¹

¹ Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН (БИП СО РАН),
Улан-Удэ, Россия, e-mail: lkhud@binm.ru

Аннотация: Развитие горнопромышленного комплекса должно основываться на экологической безопасности, и вовлечение в производство образуемых отходов становится актуальной задачей. Наиболее перспективным и экономически обоснованным направлением является производство бетона. Это позволяет использовать большое количество вскрышных, вмещающих и некондиционных пород. В их число входят магнийсиликатные породы различного химического и минералогического состава, которые можно использовать в качестве крупного заполнителя. Поэтому целью настоящих исследований является изучение основных характеристик щебня из данных пород и влияния его видов на механические показатели бетонов. Установлено, что основные физико-механические характеристики щебня соответствуют требованиям технической документации и он может использоваться в строительстве. Вид щебня влияет на прочностные показатели бетонов. Наилучшие значения прочности показывают бетоны на дунитовом щебне, наиболее низкие – на серпентинитовом щебне. Прочность при сжатии бетонов на базальтовом щебне сопоставима с показателями бетонов на гранитном щебне. Это обусловлено формой зерен заполнителя и его твердостью. Щебень из дунита представлен зернами кубовидной формы, а из серпентинита и базальта еще и зернами пластинчатой и игловатой формы. Твердость дунита выше, чем базальта и серпентинита. Показано, что магнийсиликатные породы можно использовать в качестве крупного заполнителя при получении бетонов. Это позволит расширить перечень сырьевых материалов для строительной отрасли, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет сокращения отходов.

Ключевые слова: магнийсиликатные породы, щебень, бетон, прочность при сжатии, отходы горной промышленности, крупный заполнитель, твердость, плотность.

Благодарность: Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН, № ААА-А21-121011890003-4 с использованием приборов и оборудования Центра коллективного пользования.

Для цитирования: Худякова Л. И., Котова И. Ю. Влияние щебня из магнийсиликатных пород на механические показатели бетонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 7. – С. 88–95. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_88.

Effect of magnesium silicate filler on mechanical characteristics of concrete

L.I. Khudyakova¹, I.Yu. Kotova¹

¹ Baikal Institute of Nature Management Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(BINM SB RAS), Ulan-Ude, Russia, e-mail: lkhud@binm.ru

Abstract: Development of the mineral mining sector should rely on the environmental safety, and utilization of mining waste becomes a relevant target in this regard. To this effect, the most promising and economically validated area is production of concrete. It is possible to utilize much overburden, dead and poor quality rocks in this case. Such rocks also include magnesium silicate rocks of different mineralogy and chemistry, utilizable as a coarse filler. This research aims to analyze the main characteristics of crushed stone made of magnesium silicate rocks and their effects on mechanical characteristics of concrete. It is found that this-type crushed stone has the main physical and mechanical properties conformable with the engineering standards and can be used in construction. The type of crushed stone influences the strength of concrete. The highest strength is demonstrated by concrete with dunite filler, the lowest strength is a feature of serpentine filler. The compressive strength of concrete with basalt filler is comparable with the compressive strength of concrete with granite filler. This is governed by the shape and hardness of the filler grains. Dunite filler has cubic grains, and serpentine and basalt fillers have plate and needle grains. Dunite has a higher hardness than basalt and serpentine. Magnesium silicate rocks can also be used as a coarse filler in manufacture of concrete. This can extend the list of raw materials applicable in the construction industry, and can mitigate the adverse environmental effect of dumping owing to its reduction.

Key words: magnesium silicate rocks, crushed stone, concrete, compressive strength, mining industry waste, coarse filler, hardness, density.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state task of the BIP SB RAS, No. AAAA 21-121011890003-4 using instruments and equipment of the Center for Collective Use.

For citation: L.I. Khudyakova, I.Yu. Kotova Effect of magnesium silicate filler on mechanical characteristics of concrete. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(7):88-95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_7_0_88.

Введение

В настоящее время в сложившейся ситуации пристальное внимание уделяется развитию минерально-сырьевой базы нашей страны, в частности, вовлечению в производство отходов горнопромышленного комплекса. Об этом сказано в Перечне поручений, утвержденных Президентом РФ 28.06.2022 № Пр-1130, в связи с чем данная проблема приобретает все большую актуальность.

Вопросы использования горных отходов в различных областях промышленности рассматривают ученые разных стран мира [1 – 6]. Большое количество работ посвящено вовлечению их в производство строительных материалов,

в частности бетонов. Это направление является наиболее материалоемким и экономически обоснованным. В бетонах крупный заполнитель составляет более трех четвертей всего объема, его качество и стоимость сказываются на конечном продукте, поэтому ведутся поиски замены традиционно используемого гранитного щебня на отходы горнодобывающей промышленности. Кроме того, разрабатываются месторождения активно эксплуатируются, а для освоения новых необходимы большие инвестиции [7].

В основном в качестве крупного заполнителя используются изверженные (гранит) и осадочные (гравий) породы. Показана возможность применения в со-

ставе бетонов флюсового известняка после его обогащения, что не оказывает отрицательного влияния на качество получаемого материала [8]. Наряду с флюсовым известняком можно использовать обычный известняк и песчаник. Введение их в состав бетона понижает его прочность по сравнению с материалом на гранитном щебне. Причем это влияние более заметно на щебне из песчаника [9, 10].

Проведенные исследования по использованию в качестве крупного заполнителя известняка, мрамора, гнейса, сланца, кварцита показали, что наибольшую прочность при сжатии имеют образцы бетонов со сланцем и кварцитом [11]. При этом повышенная прочность характерна для всех марок бетонов, содержащих кварцит [12, 13]. Если рассматривать бетоны на щебне из диабазы, базальта, известняка и гнейса, то при водоцементном соотношении 0,3 прочность при сжатии уменьшается в вышеперечисленной последовательности [14]. Базальт может составлять часть крупного заполнителя [15]. При применении в составе бетонов смеси известнякового и базальтового щебня механические показатели возрастают с увеличением содержания последнего [16]. Кроме того, базальтовый щебень можно использовать для получения сверх-высокоэффективных фибробетонов. Добавка его незначительно снижает механические показатели образцов, которые, однако, находятся в допустимых пределах [17].

Как видно из проводимых исследований, видовой состав щебня ограничен. В основном используется гранитный щебень и гравий. Однако при добыче полезных ископаемых образуется огромное количество вскрышных, вмещающих и некондиционных пород, которые необходимо утилизировать. В перечень их входят магнийсиликатные породы, вовлечение в производство которых является актуальной задачей. Исходя из этого, це-

лю настоящих исследований является изучение основных характеристик щебня из отходов горнодобывающей промышленности и влияния его видов на механические показатели бетонов.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являются магнийсиликатные породы Байкальского региона — дуниты, серпентиниты, базальты.

Испытания данных пород проводились согласно требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Испытания образцов бетонов выполнялись по ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» и ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

При изготовлении бетонных образцов использовался портландцемент ООО «ТимлюйЦемент» ЦЕМ 0 42,5Н и кварцполевошпатовый песок. В качестве сравнения применялся гранитный щебень. Испытания проводили на равных количествах заполнителей при водоцементном соотношении 0,55.

При проведении исследований выполнялись химический, рентгенофазовый анализы, физико-механические испытания горных пород и полученных материалов.

Было использовано следующее оборудование: атомно-абсорбционный спектрометр SOLAAR-6M фирмы «Unicam» (Англия) с соответствующим программным обеспечением; рентгеновский дифрактометр «Bruker AXS, D8-Advance» (Германия); испытательный гидравлический пресс ПГМ-100 (Россия).

Таблица 1

Химический состав магнийсиликатных пород
Chemical composition of magnesium-silicate rocks

Порода	Содержание основных компонентов, масс. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Дунит	37,40	1,25	3,10	12,60	40,81	0,40	0,14	0,02	2,84
Серпентинит	41,00	0,30	3,70	1,64	40,04	0,22	0,07	0,01	12,52
Базальт	48,60	16,70	2,25	9,44	4,47	6,25	4,44	2,96	1,81

Результаты и обсуждение

Первоочередным этапом исследования является определение основных характеристик щебня из магнийсиликатных пород и установление его пригодности для использования в производстве строительных материалов.

Были изучены химический (табл. 1) и минералогический составы пород.

Установлено, что породы различаются содержанием основных оксидов. Для базальтов характерно высокое содержание оксидов кремния, алюминия, кальция и щелочных металлов. Для дунита и серпентинита — оксида магния. Дунит отличается повышенным содержанием железа, а серпентинит — воды. Дуниты и серпентиниты — ультраосновные породы, базальты — основные.

Анализ результатов исследования фазового состава магнийсиликатных пород методом рентгенофазового анализа показал, что основным минералом дунитов является оливин. В серпентините наиболее интенсивные рефлексы относятся к антигориту и хризотилу, а в ба-

зальте — к альбиту, анортиту, авгиту и оливину.

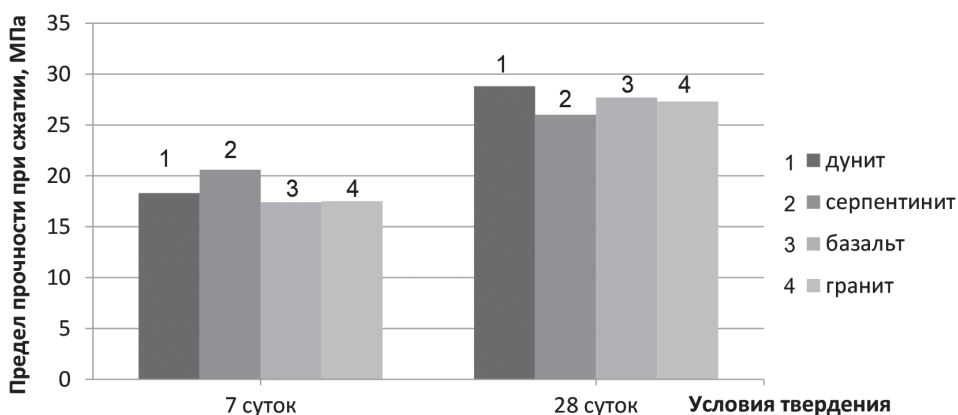
Определены основные показатели щебня, регламентируемые требованиями ГОСТ 8267-93 и позволяющие судить о возможности применения его в строительстве. Как показали проведенные исследования, щебень изучаемых видов имеет высокий удельный вес, не содержит зерен слабых пород, пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках. В нем отсутствуют вредные компоненты и примеси, он не подвержен каким-либо видам распада, воздействию окружающей среды и щелочей. Характеристики щебня представлены в табл. 2.

Щебень всех видов относится к I группе щебня (согласно ГОСТ 8267-93). Он в основном представлен зернами кубовидной формы. В дунитовом щебне отсутствуют зерна пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. В серпентинитовом щебне их количество составляет 9,2%, в базальтовом — 7,3%. В целом щебень из исследуемых пород имеет высокое качество и может использоваться

Таблица 2

Характеристики щебня из магнийсиликатных пород
Characteristics of crushed stone from magnesium-silicate rocks

Порода	Состав, основные минералы	Плотность, кг/м ³	Марка по		
			дробности	истираемости	морозостойкости
дунит	оливин	3198,5	M1400	II	F400
серпентинит	антигорит, хризотил	2705,7	M1400	II	F400
базальт	альбит, анортит, авгит, оливин	2984,3	M1400	II	F400



*Зависимость прочности бетонов от вида крупного заполнителя
The dependence of the strength of concrete on the type of coarse aggregate*

для строительных работ. Изучено влияние вида щебня на механические показатели бетонов (рисунок).

Представленные результаты свидетельствуют о том, что прочность полученных бетонов зависит от вида крупного заполнителя. В возрасте твердения 7 сут. наибольшую прочность имеют образцы бетона на щебне из серпентинита, а на щебне из базальта и гранита — близкие значения. По истечении 28 сут. твердения наилучшие показатели наблюдаются у образцов на дунитовом щебне, наиболее низкие — на серпентинитовом щебне. Предел прочности при сжатии бетонов на гранитном и базальтовом заполнителях различается незначительно и имеет близкие значения.

Как было показано, магнийсиликатные породы имеют разную форму зерен, что, в свою очередь, оказывает влияние на механические показатели бетонов [18, 19]. Так, щебень из дунита, имеющий кубовидную форму, образует плотную упаковку заполнителя в объеме бетона, о чем свидетельствует повышенная плотность полученного материала (2730 кг/м³). Надо отметить, что наличие в составе базальтового щебня уже 5,4% зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы уменьшает плотность

бетона до 2391 кг/м³, а увеличение в составе серпентинитового щебня зерен данной формы до 8,9% приводит к снижению плотности до 2301 кг/м³.

Другим параметром, влияющим на прочность бетонов, является твердость заполнителя, обусловленная структурой исходной породы. Установлено, что прочностные показатели бетонов зависят от твердости крупного заполнителя. Так, прочность при сжатии бетонов на дунитовом щебне имеет максимальное значение (28,8 МПа), что можно связать с тем, что основной минерал дунитов — оливин — представляет собой ортосиликат с компактной кристаллической решеткой и плотной упаковкой ионов. Структура его — изолированные кремнекислородные тетраэдры, которые соединены двухвалентными катионами в октаэдрических пустотах гексагональной плотнейшей упаковки анионов кислорода [20]. Это обуславливает высокую твердость породы (6,5–7,0 по шкале Мооса) и повышенный удельный вес.

Минералы серпентинита — антигорит и хризотил — относятся к метасиликатам слоистого строения с цепочечной структурой и чешуйчато-волокнистым строением, кристаллическая решетка которых представляет собой слабо связан-

ные тетраэдры [21]. Серпентинит достаточно вязок, имеет невысокие твердость (2,5–4,0 по шкале Мооса) и плотность и, соответственно, более низкое значение прочности при сжатии бетонов (26,0 МПа).

Базальт, помимо оливина, сложен каркасными алюмосиликатами группы плагиоклазов (альбит и анортит) и метасиликатом с цепочечной структурой, представленным моноклинным пироксеном – авгитом. Последние имеют структуру бесконечных размеров, кремнекислородные тетраэдры которых скреплены вершинами (плагиоклазы, пироксены) [22]. Составляющие базальт минералы и определяют его высокую плотность и твердость, которая находится в пределах 5–7 по шкале Мооса.

Надо отметить, что и гранит, щебень из которого используется в качестве сравнения, имеет твердость 5–7. Определено, что прочность при сжатии бетонов на гранитном щебне (27,3 МПа) сопоставима с показателями бетонов на базальтовом щебне (27,7 МПа).

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие результаты.

1. Изучены физико-механические показатели щебня из магнийсиликатных

пород. Установлено, что они соответствуют требованиям технической документации и свидетельствуют о его высоком качестве.

2. Получены тяжелые бетоны, установлена зависимость их механических показателей от твердости заполнителя и формы его зерен. Наибольшую прочность имеют бетоны на дунитовом щебне с зернами кубовидной формы и твердостью породы 6,5–7,0 по шкале Мооса. Наименьшая прочность зафиксирована у бетонов на серпентинитовом заполнителе, в котором форма зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы составляет более 9%, а твердость находится в пределах 2,5–4,0.

3. Показано, что вскрышные, вмещающие и некондиционные породы (дуниты, серпентиниты, базальты) можно использовать в качестве крупного заполнителя при получении бетонов. Это позволит расширить перечень сырьевых материалов для строительной отрасли, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет сокращения отвалов.

Помимо исследованных пород, в отвалах находится огромное количество других видов, которые требуют тщательного исследования, изучения и установления областей их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов П. И., Хазин М. Л., Апакашев Р. А. Использование отходов горнодобывающей промышленности Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 21–31. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-21-31.

7. Латыпов Д. В. Состояние, проблемы и перспективы развития горных предприятий промышленности строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12. – С. 51–60.

8. Леонович С. Н., Полейко Н. Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 66–69.

9. Стельмах С. А., Щербань Е. М., Мозговая А. С., Скуч М. С. Исследование и сравнительный анализ вариантов комбинирования крупных заполнителей различных видов для тяжелого бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – № 3. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf> (дата обращения 29.09.2022).

Литературу с п. 2 по п. 7 и с п. 10 по п. 17 смотри в REFERENCES.

18. Полейко Н. Л., Леонович С. Н. Физико-механические показатели бетона на кубовидном щебне // Строительные материалы. – 2015. – № 7. – С. 13–16.

19. Haddad L. D. O., Neves R. R., Oliveira P. V., Santos W. J., Junior A. N. C. Influence of particle shape and size distribution on coating mortar properties // Journal of Materials Research and Technology. 2020, vol. 9, no. 4, pp. 9299–9314. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.06.068.

20. Макеев А. Б., Лютоев В. П., Второв И. П., Брянчанинова Н. И., Макавецкас А. Р. Состав и спектроскопия ксенокристов оливина из гавайских толеитовых базальтов // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2020. – Т. 162. – № 2. – С. 253–273. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.2.253-273.

21. Анисимова А. А. Геммологическое и минералого-петрографическое исследование серпентинитов Восточного Саяна // Науки о Земле и недропользование. – 2021. – Т. 44. – № 1. – С. 48–55. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-1-48-55.

22. Додис Г. М., Кудинова И. В. Структура расплава из базальтовых горных пород // Manas Journal of Natural Sciences. – 2001. – Т. 1. – № 1. – С. 1–17. **MIAB**

REFERENCES

1. Tarasov P. I., Khazin M. L., Apakashev R. A. Mining waste recycling in the Ural. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 21–31. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-21-31.

2. Aznar-Sánchez J. A., García-Gómez J. J., Velasco-Muñoz J. F., Carretero-Gómez A. Mining waste and its sustainable management: advances in worldwide research. *Minerals*. 2018, vol. 8, no. 7, article 284. DOI: 10.3390/min8070284.

3. Retka J., Rzepa G., Bajda T., Drewniak L. The use of mining waste materials for the treatment of acid and alkaline mine wastewater. *Minerals*. 2020, vol. 10, article 1061. DOI: 10.3390/min10121061.

4. Ally A. N., Blanche M. M., Nana U. J. P., Grâce M. M., François N., Pettang C. Recovery of mining wastes in building materials: A Review. *Open Journal of Civil Engineering*. 2021, vol. 11, pp. 379–397. DOI: 10.4236/ojce.2021.114022.

5. Cobirzan N., Muntean R., Thalmaier G., Felseghi R.-A. Recycling of mining waste in the production of masonry units. *Materials*. 2022, vol. 15, article 594. DOI: 10.3390/ma15020594.

6. Kislov E. V., Khudyakova L. I. Yoko-Dovyren layered massif: composition, mineralization, overburden and dump rock utilization. *Minerals*. 2020, vol. 10, article 682. DOI: 10.3390/min10080682.

7. Latypov D. V. Status, problems and prospects of development of mining enterprises of building materials industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 12, pp. 51–60. [In Russ].

8. Leonovich S. N., Poleyko N. L. Operating characteristics of concrete with a filler from secondary rocks. *Stroitel'nye Materialy*. 2016, no. 8, pp. 66–69. [In Russ].

9. Stel'makh S. A., Shcherban' E. M., Mozgovaya A. S., Skuch M. S. Research and comparative analysis of options for combining large aggregates of various types for heavy concrete of vibrated reinforced concrete products and structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019, vol. 11, no. 3. [In Russ], available at: <https://esj.today/PDF/29SAVN319.pdf> (accessed 29.09.2022).

10. Sarireh M., Al-Baijat H. Local aggregate in production of concrete mix in Jordan. *Open Journal of Civil Engineering*. 2019, vol. 9, pp. 81–94. DOI: 10.4236/ojce.2019.92006.

11. Prajapati J., Karanjit S. Effect of coarse aggregate sources on the compressive strength of various grade of nominal mixed concrete. *Japan Society of Civil Engineers*. 2019, vol. 7, no. 11, pp. 52–60.

12. Bhavya K., Sanjeev N. Effect of different types of coarse aggregates on physical properties of mostly used grades M20, M25, M30 of concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2017, vol. 14, no. 1, ver. II, pp. 46–51. DOI: 10.9790/1684-1401024651.

13. Quayson J. H., Mustapha Z. Impact of coarse aggregate on compressive strength of concrete. *Built Environment Journal*. 2019, vol. 16, no 1, pp. 49–58.

14. Wang L., Yong H., Lu J., Shu C., Wang H. Influence of coarse aggregate type on the mechanical strengths and durability of cement concrete. *Coatings*. 2021, vol. 11, article 1036. DOI: 10.3390/coatings11091036.

15. Choi H.-B., Park J.-O. Study on mechanical properties of concrete using basalt-based recycled aggregate and varying curing conditions. *Materials*. 2022, vol. 15, article 4563. DOI: 10.3390/ma15134563.

16. Kishore I. S., Mounika L., Prasad C. M., Krishna B. H. Experimental study on the use of basalt aggregate in concrete mixes. *SSRG International Journal of Civil Engineering*. 2015, vol. 2, no. 4, pp. 39 – 42. DOI: 10.14445/23488352/IJCE-V2I4P107.

17. Li P. P., Yu Q. L., Brouwers H. J. H. Effect of coarse basalt aggregates on the properties of ultra-high performance concrete (UHPC). *Construction and Building Materials*. 2018, vol. 170, pp. 649 – 659. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.109.

18. Poleyko N. L., Leonovich S. N. Physical-mechanical characteristics of concrete with cubiform crushed stone. *Stroitel'nye Materialy*. 2015, no. 7, pp. 13 – 16. [In Russ].

19. Haddad L. D. O., Neves R. R., Oliveira P. V., Santos W. J., Junior A. N. C. Influence of particle shape and size distribution on coating mortar properties. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020, vol. 9, no. 4, pp. 9299 – 9314. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.06.068.

20. Makeyev A. B., Lutoev V. P., Vtorov I. P., Braynchaninova N. I., Makavetskas A. R. Composition and spectroscopy of olivine xenocrysts from the Hawaiian tholeiitic basalts. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*. 2020, vol. 162, no. 2, pp. 253 – 273. [In Russ]. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.2.253-273.

21. Anisimova A. A. Gemological and mineralogical-petrographic study of the Eastern Sayan serpentinites. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*. 2021, vol. 44, no. 1, pp. 48 – 55. [In Russ]. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-1-48-55.

22. Dodis G. M., Kudinova I. V. Structure of the melt from basalt rocks. *Manas Journal of Natural Sciences*. 2001, vol. 1, no. 1, pp. 1 – 17. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Худякова Людмила Ивановна¹ — д-р техн. наук,
старший научный сотрудник, e-mail: lkhud@binm.ru,
ORCID ID: 0000-0003-1423-410X,

Котова Ирина Юрьевна¹ — канд. хим. наук,
научный сотрудник, e-mail: ikotova@binm.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3829-6516,

¹ Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения РАН (БИП СО РАН).

Для контактов: Худякова Л.И., e-mail: lkhud@binm.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

L.I. Khudyakova¹, Dr. Sci. (Eng.), e-mail: lkhud@binm.ru,
ORCID ID: 0000-0003-1423-410X,

I.Yu. Kotova¹, Cand. Sci. (Chem.), e-mail: ikotova@binm.ru,
¹ Baikal Institute of Nature Management,

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(BINM SB RAS), 670047, Ulan-Ude, Russia.

Corresponding author: L.I. Khudyakova, e-mail: lkhud@binm.ru.

Получена редакцией 11.10.2022; получена после рецензии 12.04.2023; принята к печати 10.06.2023.

Received by the editors 11.10.2022; received after the review 12.04.2023; accepted for printing 10.06.2023.