

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОТБОЙКИ ПОРОД ГИДРОМОНИТОРОМ ПРИ НАЛИЧИИ В ЕГО СТРУЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНОЙ КРУПНОСТИ

Н.А. Шкаруба<sup>1</sup>, В.Е. Кисляков<sup>1</sup>, Н.В. Николаева<sup>1</sup>, П.В. Катышев<sup>1</sup>, У.Р. Тешаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Институт горного дела, геологии и геотехнологий,  
Институт космических и информационных технологий, Красноярск, Россия,  
e-mail: NShkaruba@sfu-kras.ru

<sup>2</sup> Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,  
факультет Строительства и архитектуры, Душанбе, Таджикистан

**Аннотация:** Для разработки месторождений, залегающих в глинистых грунтах, зачастую применяют методы гидромониторной отбойки пород. На горнодобывающих предприятиях РФ в настоящее время применяется обратная схема снабжения технологической водой из прудов-отстойников, однако из-за того, что осаждение тонкодисперсной фракции вмещающих пород в прудах-отстойниках происходит очень медленно, в технологической воде неизбежно присутствует некоторое содержание тонкодисперсных грунтовых частиц, увеличивающееся с течением времени и достигающее ощутимых значений к концу промывочного сезона. С целью определения влияния содержания твердых частиц различной крупности в струе гидромонитора на его производительность проведены эксперименты в лабораторных условиях. По результатам экспериментов выявлено, что содержание твердых частиц (глинистых фракций крупностью 0,005 мм) от 0 до 100 г/л в технологической воде может увеличивать производительность отбойки пород гидромонитором на 1 — 10%. При содержании в струе гидромонитора твердых частиц крупностью от 1,5 до 4,1 мм, подаваемых посредством их эжектирования, обнаружена возможность увеличения производительности отбойки пород до 3 раз (что соответствует содержанию твердых частиц в струе 6,5 г/л). С технологической точки зрения при разработке месторождений полезных ископаемых средствами гидромеханизации применение полученных в ходе экспериментов результатов целесообразно на предприятиях с обратной схемой водоснабжения из прудов-отстойников (для твердых частиц крупностью до 0,005 мм) и при отбойке пород струей гидромонитора попутным или боковым забоем (для твердых частиц крупностью 1,5—4,1 мм).

**Ключевые слова:** россыпное месторождение, гидромонитор, отбойка пород, глинистый массив, твердые частицы, крупность твердых частиц, производительность отбойки.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90112.

**Для цитирования:** Шкаруба Н. А., Кисляков В. Е., Николаева Н. В., Катышев П. В., Тешаев У. Р. Производительность отбойки пород гидромонитором при наличии в его струе твердых частиц различной крупности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 37–44. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_11\_0\_37.

---

## Rock jetting performance with solid particles of different sizes in hydraulic monitor jet

N.A. Shkaruba<sup>1</sup>, V.E. Kislyakov<sup>1</sup>, N.V. Nikolaeva<sup>1</sup>, P.V. Katyshev<sup>1</sup>, U.R. Teshaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: NShkaruba@sfu-kras.ru

<sup>2</sup> Academician Osimi Tajik Technical University, Dushanbe, Tajikistan

---

**Abstract:** Rock jetting methods are often applied to develop clay deposits. Mines in Russia currently use the recycling scheme of process water supply from settling ponds. However, fine fractions of host rocks settle very slowly in the settling ponds and inevitably get in recycled process water; moreover, the content of such particles increases over time and reaches substantial values by the end of the flushing season. Laboratory experiments aimed to determine the effect exerted by the content of different-size solid particles in the hydraulic monitor jet on the jet performance have shown that the content of solid particles (clay fractions with a size of 0.005 mm) from 0 to 100 g/l in process water can increase the jetting performance by 1–10%. Solid particles from 1.5 to 4.1 mm in size in the hydraulic monitor jet make it possible to triple rock jetting performance (which corresponds to the solid particle content of 6.5 g/l in the jet). Technologically, these experimental results are applicable in hydraulic mining with the recycling scheme of water supply from settling ponds (for solid particles with a size of up to 0.005 mm) and in rock jetting with cocurrent or side face (for solid particles from 1.5 to 4.1 mm in size).

**Key words:** placer, hydraulic monitor, rock breaking, clay rock mass, solid particles, solid particle size, rock jetting performance.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 19-35-90112.

**For citation:** Shkaruba N. A., Kislyakov V. E., Nikolaeva N. V., Katyshev P. V., Teshaev U. R. Rock jetting performance with solid particles of different sizes in hydraulic monitor jet. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11):37-44. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_11\_0\_37.

---

### Introduction

High-pressure rock jetting methods are often applied to develop clay deposits [1].

The studies aimed to improve this process concern design parameters both of the hydraulic mining facility and geotechnology [2–5].

Russian mines currently use the recycling process water supply from settling ponds.

This approach helps to reduce the impact on the environment. However, fine fractions of host rocks settle very slowly in the settling ponds, and fine soil particles are inevitably present in recycled process

water; moreover, the solid particle content increases over time and reaches substantial values by the end of the flushing season.

### Materials and methods

Laboratory experiments were carried out to determine the effect exerted on high-pressure jetting performance by the content of solid particles of different sizes in the jet.

The experiments were performed at a scale of 1:10, with regard to the similarity criteria, on a laboratory test bench (RF Patent No. 169574).

The initial experimental data are as follows:

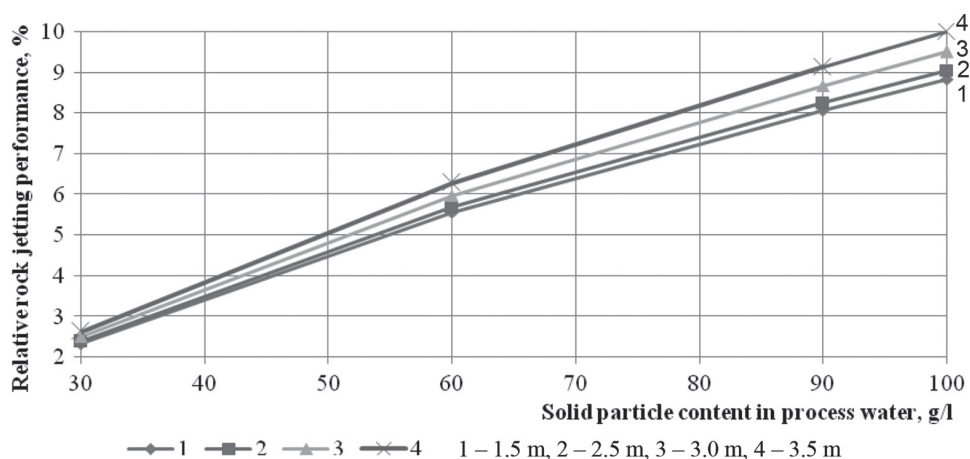


Fig. 1. Change in rock jetting performance versus process water content of solid particles 0.005 mm in size and distance to rock face ( $d_n = 5.2$  mm,  $H_n = 10$  m)

Рис. 1. Изменение производительности отбойки пород струей гидромонитора от содержания твердых частиц крупностью 0,005 мм в технологической воде и расстояния от забоя (при  $d_n = 5,2$  мм,  $H_n = 10$  м)

**Fine particles up to 0.005 mm in size:**  
 Monitor nozzle diameter  $d_n$ , mm: 5.2; 7.6; 10.2;  
 Monitor nozzle head,  $H_n$ , m: 10; 15; 20;  
 Distance to the face  $L$ , m: 1.5–3.5;  
 Average solid particle size  $d_{sp}$ , mm: 0.005;  
 Face-jet impact angle  $\alpha$ , deg: 90;  
 Solid particle content  $c_{sp}$ , g/l: 30, 60, 90, 100.

**Particles 1.5–4.1 mm in size:**  
 Monitor nozzle diameter  $d_n$ , mm: 5.2; 7.6; 10.2;  
 Monitor nozzle head  $H_n$ , m: 5;  
 Distance to the face  $L$ , m: 3;  
 Average solid particle size  $d_{sp}$ , mm: 1.5; 2.0; 2.6; 3.3; 4.1;  
 Face-jet impact angle  $\alpha$ , deg: 5; 15; 35; 55; 75; 90;  
 Solid particle content  $c_{sp}$ , g/l: 5; 10; 15; 20; 23.

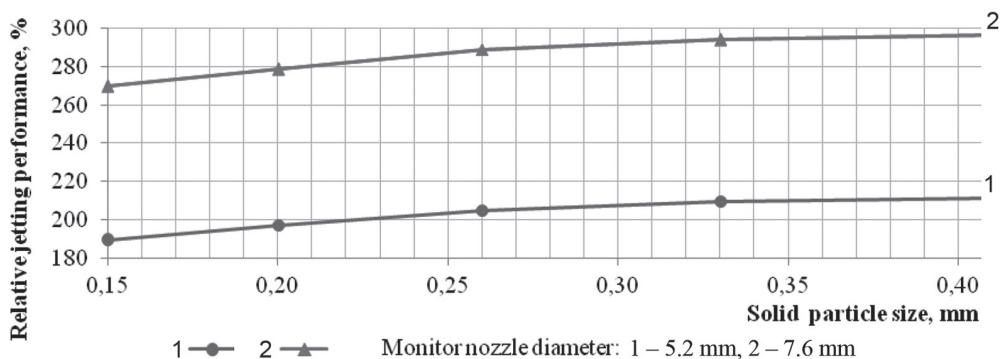


Fig. 2. Effect of solid particle size on relative rock jetting performance at face-jet impact angle  $\alpha = 90^\circ$  and abrasive particle content of 6.5 g/l (jetting performance with high-pressure water without added abrasive particles is assumed as 100%) [8]

Рис. 2. Влияние крупности твердых частиц на относительную производительность отбойки пород гидромонитором при угле встречи струи с поверхностью забоя  $\alpha = 90^\circ$  и содержании абразивных частиц 6,5 г/л (за 100% принята производительность гидромонитора при использовании напорной воды без добавления твердых абразивных частиц) [8]

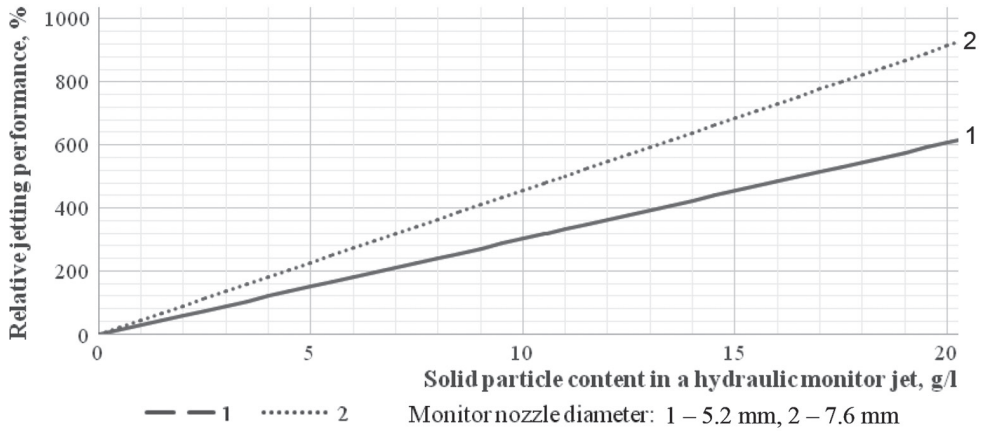


Fig. 3. Rock jetting performance versus content of solid particles 1.5–4.1 mm in size in hydraulic jet with different nozzle diameters (jet performance with clear water is assumed as 100%) [8]

Рис. 3. Изменение производительности отбойки пород от содержания твердых частиц крупностью 1,5–4,1 мм в струе гидромонитора при различных диаметрах насадки (за 100 % принята производительность при использовании чистой воды) [8]

The rock-breaking facility design includes the hydraulic monitor to provide two-phase high-pressure jet (RF Patent No. 2702442).

### Results

The experimental results show that the content of solid particles (clay fractions with a size of 0.005 mm) from 0 to 100 g/l in process water can increase rock jetting performance by 1–10% (Figure 1) [6–7].

Such particles naturally accumulate when a mine uses recycling process water supply from settling ponds.

With solid particles from 1.5 to 4.1 mm in size, rock jetting performance can be increased by three times (which corresponds to the solid particle content of 6.5 g/l in the jet) as illustrated in Figure 2.

The size and the volume content of such particles in the hydraulic monitor jet are of great importance as their increase im-

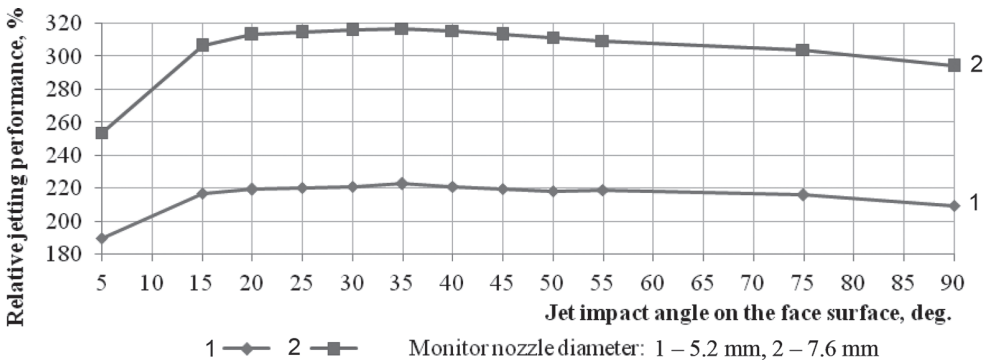


Fig. 4. Relative rock jetting performance at solid particle content of 6.5 g/l and size of 0.33 mm as function of face-jet impact angle and nozzle diameter [8]

Рис. 4. Относительная производительность отбойки пород гидромонитором при содержании твердых частиц 6,5 г/л и их крупности 0,33 мм в зависимости от угла встречи струи с поверхностью забоя и диаметра насадки [8]

proves the rock jetting performance. The diameter of a hydraulic jet nozzle and the face-jet impact angle are of importance too (Figures 3 and 4).

At the same content of solid particles 1.5–4.1 mm in size, the jet with a larger diameter nozzle has higher rock-breaking capacity (Figure 3).

Solid particles from 1.5 to 4.1 mm in size in the hydraulic monitor jet make it possible to increase rock jetting performance, and the highest effect is achieved at the face-jet impact angle from 25 to 45 deg (Figure 4).

### Discussion

The implemented experiments demonstrate that the presence of solid particles in the hydraulic monitor jet allows increasing performance of rock breaking in hydraulic mining.

Solid particles with a size of up to 0.005 mm, which accumulate naturally during operation of a mine with the recycling water supply from settling ponds, can increase relative jetting performance by up to 10%.

At the same time, technologically, it is recommended not to exceed the content of 60 g/l of fine soil particles in high-pressure water jet in actual mining operations (which is conditioned by gravity processing methods), and not to exceed 100 g/l in stripping (due to a sharp increase in abrasive wear of machine parts and mechanisms) [9–11].

Rock breaking by high-pressure water jet containing larger solid particles, namely, 1.5 to 4.1 mm in size, is the quite widely known method. This approach is most often used for hydro-abrasive cutting of various materials [12–17].

However, water jet cutting differs from rock jetting using small jet diameters, very high pressure head, significant abrasive content in the water jet, vertical direction of the jet and at a small distance to the ob-

ject being cut. The increase in rock jetting performance is primarily due to the high abrasiveness of the hydraulic monitor jet containing solid particles.

It is found experimentally that the rock face-jet impact angle is of no small importance: rock breaking by the hydraulic monitor jet with abrasive particles in it features the highest performance when the angle is from 25 to 45°. It is therefore recommended for mines to use the rock jetting methods in compliance with such angles. This is possible in rock jetting with a cocurrent or side face.

Furthermore, the experiments reveal the dependence of the rock jetting performance on the abrasive particle content in the hydraulic monitor jet as shown in Figure 2. It is possible to increase the jetting performance by three times if the content of solid particles from 1.5 to 4.1 mm in size in the jet is 6.5 g/l.

At the same time, high rock jetting performance with high content of solid particles in the hydraulic monitor jet leads to the significant consumption of the particles, which, in turn, increases the mining cost.

Based on this, it is advisable to find a cost-effective ratio of rock jetting performance and mining cost at large when designing mining operations.

### Conclusions

The analysis of the accomplished research results allows the conclusion that the presence of solid particles of different sizes in the hydraulic monitor jet helps to increase the rock jetting performance. The presence of particles with a size of up to 0.005 mm allows the water jet to impact rock mass with a greater force than with the conventional clear water jet: up to 10% with the content of these particles up to 100 g/l. Solid particles up to 4.1 mm in size in the high-pressure hydraulic monitor jet makes the jet abrasive, which helps

to break clay rock mass with much greater intensity (to three times at the particle content of 6.5 g/l).

It is most effective to implement these experimental results in rock jetting with cocurrent or side faces (with solid particles in a size range from 1.5 to 4.1 mm).

Вклад авторов:

Шкаруба Наталья Александровна — постановка и проведение экспериментов, сбор и анализ полученных дан-

ных, разработка технологических решений,

Кисляков Виктор Евгеньевич — научное руководство,

Николаева Наталья Владимировна — обзор и анализ литературы, работа с иностранными источниками,

Катышев Павел Викторович — технологические аспекты применения результатов исследования,

Тешаев Умарджон Риёзидинович — проведение экспериментов, сбор и анализ полученных данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батугин С. А., Батугина Н. С., Бураков А. М. и др. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями. — Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2013. — 307 с.

2. Мерзляков В. Г. Гидроструйные технологии в горном деле: основные результаты научно-исследовательских работ // Горное оборудование и электромеханика. — 2018. — № 2. — С. 6–11.

3. Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е., Бейдинов В. Н. Опыт применения гидравлических струй высокого давления при создании эффективных средств разрушения горных пород // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2011. — № 4(4). — С. 1522–1524.

4. Жабин А. Б., Поляков А. В., Сарычев В. И., Хачатурян В. Г. Разрушение горючих сланцев высокоскоростными струями воды // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 7. — С. 9–13.

5. Жабин А. Б., Аверин Е. А. Систематизация параметров процесса эрозии горных пород под действием гидроабразивных струй // Горное оборудование и электромеханика. — 2015. — № 4. — С. 41–44.

6. Шкаруба Н. А., Кисляков В. Е. Сила удара струи гидромонитора о забой // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № S38. — С. 188–192.


7. Кисляков В. Е., Шкаруба Н. А., Катышев П. В. Исследование силы удара струи гидромонитора о забой // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 268–275.

8. Шкаруба Н. А. Разработка технологии отбойки пород гидромонитором при наличии в его струе частиц различной крупности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Красноярск: СФУ, 2020. — 20 с.

9. Шорохов С. М., Зуйков А. А., Селезнев В. М. и др. О контроле мутности технологической воды на драгах и способе осветления воды в дражном разрезе при бессточной схеме водоснабжения // Колыма. — 1973. — № 11. — С. 27–28.

10. Замятин О. В., Лопатин А. Г., Санникова Н. П. и др. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов. — М.: Недра, 1975. — 264 с.

11. Кисляков В. Е. Предельная загрязненность технологической воды при разработке россыпных месторождений золота // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 3. — С. 148–156.

12. Liu S., Liu X., Chen J., Lin M. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2015, vol. 28, no. 3, pp. 607 – 617. DOI: 10.3901/CJME.2015.0305.023.
13. Liu X., Liu S., Li L., Cui X. Experiment on conical pick cutting rock material assisted with front and rear water jet // Advances in Materials Science and Engineering. 2015, vol. 2015, 9 p. DOI: 10.1155/2015/506579.
14. Liu S., Chen J., Liu X. Rock breaking by conical pick assisted with high pressure water jet // Advances in Mechanical Engineering. 2014, vol. 2014, 10 p. DOI: 10.1155/2014/868041.
15. Song D., Wang E., Liu Z., Liu X., Shen R. Numerical simulation of rock-burst relief and prevention by water-jet cutting // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2014, vol. 70, pp. 318 – 331. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2014.05.015.
16. Song D., Wang E., Xu J., Liu X., Shen R., Xu W. Numerical simulation of pressure relief in hard coal seam by water jet cutting // Geomechanics and Engineering. 2015, vol. 8, no. 4, pp. 495 – 510. DOI: 10.12989/gae.2015.8.4.495.
17. Wen-tao L., Xiao-yu D. Study on flow field characteristics of nozzle water jet in hydraulic cutting // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017, vol. 81, no. 1, article 012167. DOI: 10.1088/1755-1315/81/1/012167. 

## REFERENCES

1. Batugin S. A., Batugina N. S., Burakov A. M., etc. *Geotekhnologii otkrytoy dobychi mineral'nogo syr'ya na mestorozhdeniyakh so slozhnymi gorno-geologicheskimi usloviyami* [Geotechnology of Open-Pit Mineral Mining in Difficult Geological Conditions], Novosibirsk, Geo, 2013, 307 p.
2. Merzlyakov V. G. Hydrojet technologies in mining: Basic research results. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2018, no. 2, pp. 6 – 11. [In Russ].
3. Merzlyakov V. G., Baftalovskiy V. E., Beidinov V. N. Experience of using high-pressure hydraulic jets in efficient rock-breaking tool design. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2011, no. 4(4), pp. 1522 – 1524. [In Russ].
4. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Sarychev V. I., Khachatryan V. G. Destruction of oil shale by high-speed water jets. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2017, no. 7, pp. 9 – 13. [In Russ].
5. Zhabin A. B., Averin E. A. Systematization of rock erosion process parameters under the action of hydroabrasive jets. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015, no. 4, pp. 41 – 44. [In Russ].
6. Shkaruba N. A., Kislyakov V. E. The impact force of a hydraulic monitor jet. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*. 2017, no. S38, pp. 188 – 192. [In Russ].
7. Kislyakov V. E., Shkaruba N. A., Katsyshev P. V. Investigation of the jet impact face on rock face. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2018, no. 1, pp. 268 – 275. [In Russ].
8. Шкарыба Н. А. *Razrabotka tekhnologii otboyki porod gidromonitorom pri nalichii v ego strue chastits razlichnoy krupnosti* [Development of a technology for breaking rocks with a hydromonitor in the presence of particles of various sizes in its jet], Candidate's thesis, Krasnoyarsk, SFU, 2020, 20 p.
9. Shorokhov S. M., Zuykov A. A., Seleznev V. M., et al. Process water turbidity control in dredges and the method of water clarification in the dredge work site with a closed-drainage water supply scheme. *Kolyma*. 1973, no. 11, pp. 27 – 28. [In Russ].
10. Zamyatin O. V., Lopatin A. G., Sannikova N. P., etc. *Obogashchenie zolotosoderzhashchikh peskov i konglomeratov* [Processing of Gold-Bearing Sand and Conglomerates], Moscow, Nedra, 1975, 264 p.
11. Kislyakov V. E. Limit contamination of process water in gold placer mining. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2017, no. 3, pp. 148 – 156. [In Russ].

12. Liu S., Liu X., Chen J., Lin M. Rock breaking performance of a pick assisted by high-pressure water jet under different configuration modes. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2015, vol. 28, no. 3, pp. 607 – 617. DOI: 10.3901/CJME.2015.0305.023.

13. Liu X., Liu S., Li L., Cui X. Experiment on conical pick cutting rock material assisted with front and rear water jet. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2015, vol. 2015, 9 p. DOI: 10.1155/2015/506579.

14. Liu S., Chen J., Liu X. Rock breaking by conical pick assisted with high pressure water jet. *Advances in Mechanical Engineering*. 2014, vol. 2014, 10 p. DOI: 10.1155/2014/868041.

15. Song D., Wang E., Liu Z., Liu X., Shen R. Numerical simulation of rock-burst relief and prevention by water-jet cutting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2014, vol. 70, pp. 318 – 331. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2014.05.015.

16. Song D., Wang E., Xu J., Liu X., Shen R., Xu W. Numerical simulation of pressure relief in hard coal seam by water jet cutting. *Geomechanics and Engineering*. 2015, vol. 8, no. 4, pp. 495 – 510. DOI: 10.12989/gae.2015.8.4.495.

17. Wen-tao L., Xiao-yu D. Study on flow field characteristics of nozzle water jet in hydraulic cutting. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 81, no. 1, article 012167. DOI: 10.1088/1755-1315/81/1/012167.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шкаруба Наталья Александровна<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент,  
e-mail: nshkaruba@sfu-kras.ru,

Кисляков Виктор Евгеньевич<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор,  
Николаева Наталья Владимировна<sup>1</sup> — старший преподаватель,

Катышев Павел Викторович<sup>1</sup> — канд. техн. наук, доцент,

Тешаев Умарджон Риёзидинович — канд. техн. наук,  
ассистент факультета Строительства и архитектуры,

Таджикский технический университет  
имени академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан,

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет,

Институт горного дела, геологии и геотехнологий,

Институт космических и информационных технологий,

Для контактов: Шкаруба Н.А., e-mail: nshkaruba@sfu-kras.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

N.A. Shkaruba<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

e-mail: nshkaruba@sfu-kras.ru,

V.E. Kislyakov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

N.V. Nikolaeva<sup>1</sup>, Senior Lecturer,

P.V. Katyshev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

U.R. Teshaeв, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

Civil Engineering and Architecture Faculty, Academician Osimi

Tajik Technical University, Dushanbe, Tajikistan,

<sup>1</sup> Siberian Federal University,

Institute of Mining, Geology and Geotechnology,

Institute of Space and Information Technology,

660095, Krasnoyarsk, Russia.

Corresponding author: N.A. Shkaruba, e-mail: nshkaruba@sfu-kras.ru.

Получена редакцией 12.07.2021; получена после рецензии 06.09.2021; принята к печати 10.10.2021.

Received by the editors 12.07.2021; received after the review 06.09.2021; accepted for printing 10.10.2021.