УДК 622.271.504

Л.И. Худякова, О.В. Войлошников

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С МАГНИЙСИЛИКАТНЫМИ ПОРОДАМИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ*

Геоэкологические риски от нахождения отвалов с магнийсиликатными породами показаны на примере месторождения Северо-Байкальской рудной зоны. Неблагоприятные воздействия связаны с изъятием продуктивных земель, нарушением природного ландшафта территорий. Происходит загрязнение земель соединениями меди, никеля, хрома, железа, вымываемыми из разрушенных горных пород атмосферными осадками. Воздействие отвалов носит трансграничный характер. Поэтому необходимо минимизировать риски, вовлекая вскрышные и вмещающие породы в производство. Основной отраслью, использующей отходы, является стройиндустрия. Испытания щебня из магнийсиликатных пород показали, что он относится к I группе, имеет высокую марку по дробимости и истираемости, не содержит вредных компонентов. Может использоваться во всех отраслях стройиндустрии. Выполненные исследования показали, что на основе магнийсиликатных пород можно получить высококачественные бетоны. Тонкомолотые фракции данных пород пригодны для изготовлении керамических материалов. Асфальтобетонные смеси на минеральном порошке и заполнителях из магнийсиликатных пород могут использоваться для прокладки автомобильных дорог в условиях севера.

Ключевые слова: месторождения полезных ископаемых, негативное воздействие на окружающую среду, геоэкологические риски, отходы горной промышленности, отвалы, магнийсиликатные породы, щебень, строительные материалы.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-111-117

Горная промышленность имеет важное значение для экономического развития любого государства, в то же время, оказывает негативное воздействие на его экологию. Добыча полезных ископаемых сопровождается экологическими рисками, которые зависят от типа месторождения, способа его разработки, местонахождения и т.д.

Самое большое влияние на окружающую природную среду оказывают открытые горные работы, при которых выполнение технологических операций сопровождается геомеханическими нарушениями: создание выемок и образование отвалов — аэродинамическими, изменение режима водных объектов — гидрогеологическими нарушениями [1—4]. Наибольшему негативному воздействию подвергается литосфера — образование карьеров и отвалов приводит к нарушению рельефа местности. Помимо этого, происходят различные процессы, оказывающие влияние на изменение окружающей среды и приводящие к техногенным геохимическим аномалиям

* Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН (проект № 0339-2016-0004).

© Л.И. Худякова, О.В. Войлошников. 2018.

[5—8]. Исходя из вида разрабатываемого месторождения и его особенностей, негативные последствия для конкретных компонентов окружающей среды будут выражены в разной степени [9—13] и их необходимо минимизировать [14, 15]. В связи с этим, выявление потенциально возможных экологических рисков и определение путей их снижения является актуальной задачей при освоении месторождения полезных ископаемых.

Цель работы

Целью настоящей работы является определение геоэкологических рисков для окружающей среды при разработке месторождений, содержащих магнийсиликатные породы. Так как данные месторождения располагаются по всей территории России, изучаемая проблема имеет важное значение для недропользователей с позиции минимизации последствий добычных работ.

Полученные результаты

Извлечение полезных ископаемых на большинстве месторождений, содержащих магнийсиликатные породы, осуществляется открытым способом и сопровождается определенными рисками для всех компонентов окружающей среды. В зависимости от местоположения эксплуатируемого объекта и его состава геоэкологические риски по воздействию на литосферу, атмосферу, гидросферу и биосферу будут выражены в большей или меньшей степени.

Рассмотрим данные риски на примере месторождений Северо-Байкальской рудной зоны, включающей в себя Йоко-Довыренский, Авкитский, Верхнехолоднинский, Гасандякитский, Нюрундуканский, Чайский массивы. В их составе находится огромное количество магнийсиликатных пород (дунитов, серпентинитов, троктолитов, верлитов и т.д.), которые будут находится в отвалах и оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве объекта исследований выбран Йоко-Довыренский массив, находящийся в 80 км к северу от озера Байкал в бассейнах рек Тыя, Ондоко и Олокит. Мощная зона магнийсиликатных пород располагается в нем на северо-западе гольца Довырен и протягивается с северо-востока на юго-запад на 13 км между ручьями Белый и Рыбачий. Еще одна более мощная зона прослеживается между ручьями Центральный и Большой в центральной части массива [16].

При разработке данного месторождения открытым способом основные негативные воздействия на окружающую среду будут оказывать отвалы, объемы которых содержат миллиарды тонн магнийсиликатных пород, представленных не только массивными породами, но и рыхлой корой механического выветривания (дунитовым песком). Кроме того, будут нарушены гидрологические режимы ручьев, в долинах которых находятся породы. Скорее всего, они прекратят свое существование. Это повлияет на режимы рек, притоками которых являются данные ручьи.

Магнийсиликатные породы массива имеют повышенное содержание хрома (0,52%), никеля (0,32%), железа (18,1% Fe_2O_3). Разрушенная взрывными работами горная масса, находясь в отвалах, в большей степени подвержена вымыванию из нее тяжелых металлов. Если рассматривать соединения хрома, то они входят в состав магнийсиликатных пород в виде хромшпинелидов ($(Fe, Mg)(Cr, Al)_2O_4$) с содержанием оксида хрома Cr_2O_3 до 46,27%. Мигрируя в почву, соединения хрома концентрируются в ее верхних горизонтах. Хотя они мало токсичны по сравнению с соединениями Cr^{6+}, находясь в больших количествах понижают биохимическую активность почв, губительно действуют на ее микро-

флору. Никель входит в состав оливинов и, выщелачиваясь из них, загрязняет почву, накапливаясь в ее мелких фракциях. Железо, наряду с никелем, характеризуется высокой биологической активностью. Присутствуя в составе оливинов и вымываясь из пород попадает в почву.

Таким образом, отвалы, содержащие огромное количество разрушенной горной массы, если их не использовать, будут оказывать постоянное влияние на окружающую среду. Основные геоэкологические риски, связанные с отвалами магнийсиликатных пород, представлены на рисунке.

Неблагоприятные воздействия отвалов на окружающую среду связаны с изъятием продуктивных земель, нарушением природного ландшафта территорий, загрязнением земель соединениями меди, никеля, хрома, железа, вымываемыми из разрушенных горных пород атмосферными осадками. Проникая сквозь почвенный покров данные соединения поступают в подземные и поверхностные воды, аккумулируются в растениях.

В тоже время, мелкодисперсные частицы пород переносятся на далекие расстояния и оседают на поверхности, приводя к загрязнению природной территории. Воздействие отвалов с магнийсиликатными породами носит не локальный, а трансграничный характер.

Воздействия отвалов с магнийсиликатными породами	⇒	Литосфера	⇒	• изъятие земель лесного фонда; • нарушение ландшафта размещением отвалов магнийсиликатных пород; • эрозия почв и грунтов; • разрушение почвенного слоя; • загрязнение почв ионами никеля, хрома, железа; • изменение качественного состава почв; • потеря биопродуктивности прилегающих территорий; • деградация земли.
	⇒	Атмосфера	⇒	• пылевое загрязнение отвалами; • пылевое загрязнение ветровой эрозией почв и грунтов;
	⇒	Гидросфера	⇒	• загрязнение подземных и поверхностных вод ионами никеля, хрома, железа; • загрязнение поверхностных вод взвешенными частицами пыли; • нарушение гидрологического режима рек Тыя, Ондоко и Олокит; • изменение качества вод.
	⇒	Биосфера	⇒	• уничтожение растительности на территориях отвалов; • изменение видового состава растительных сообществ на прилегающих к отвалам территориях; • накопление в растительности ионов никеля, хрома, железа; • загрязнение донных отложений ионами никеля, хрома, железа; • нарушение среды обитания живых организмов; • миграция животных (медведей, оленей, лосей, косуль и т.д.) с прилегающих территорий; • изменение видового состава обитателей водоемов; • уничтожение нерестилищ хариуса.

Геоэкологические риски нахождения отвалов с магнийсиликатными породами

Учитывая факт нахождения Йоко-Довыренского массива в 80 км от озера Байкал актуальной задачей является минимизация вероятности возникновения вышеуказанных экологических рисков, которую можно достичь, вовлекая магнийсиликатные породы в производство, не допуская их попадание в отвалы.

Использовать отходы горной промышленности можно в разных отраслях народного хозяйства, однако, основными являются отрасли стройиндустрии, конкретное направление которых зависит от вида вскрышных пород. Как сказано выше, при освоении месторождений Северо-Байкальской рудной зоны в отвалах будет находиться огромное количество магнийсиликатных пород. Выполненная по ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» их радиационно-гигиеническая оценка показала, что радиационные показатели магнийсиликатных пород не превышают нормируемых значений, и их можно вовлекать в технологический процесс.

Проведено исследование данных пород на предмет пригодности для использования в производстве строительных материалов согласно ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний» и ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Выявлено, что щебень из магнийсиликатных пород имеет марку по дробимости 1200, по истираемости И1; обладает кубовидной формой с высокой прочностью его зерен, не имеет зерен пластинчатой и игловатой формы и относится к I группе щебня; не имеет вредных компонентов и примесей и устойчив ко всем видам распада. Таким образом, щебень из магнийсиликатных пород обладает высоким качеством и может использоваться во всех отраслях стройиндустрии, снижая себестоимость производимой продукции [16, 17].

В результате выполненного комплекса работ установлено, что тяжелые бетоны на крупном и мелком заполнителях из магнийсиликатных пород обладают повышенной водостойкостью, щелочестойкостью и морозостойкостью. Их можно использовать для работы в сульфатных средах. Тонкомолотые фракции данных пород пригодны в качестве добавки при изготовлении керамических материалов пластическим способом формования и полусухим прессованием. Асфальтобетонные смеси, полученные на минеральном порошке и заполнителях из магнийсиликатных пород, имеют высокие физико-механические показатели и могут использоваться для прокладки автомобильных дорог в условиях криолитозоны.

Выводы

Таким образом, разработка любого месторождения сопровождается геоэкологическими рисками, связанными с негативными воздействиями производимых процессов на окружающую природную среду, которые носят трансграничный характер. Как показано на примере Северо-Байкальской рудной зоны, огромное количество магнийсиликатных вскрышных и вмещающих пород, образуемых в результате открытых горно-добычных работ, приводит к нарушению экологического равновесия на прилегающих территориях. Для минимизации экологических рисков, связанных с размещением техногенных пород, их необходимо вовлекать в производство. Имея высокое качество, данные породы могут использоваться для получения широкого ассортимента строительных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев А. М.* Оценка эколого-геохимической опасности месторождений полезных ископаемых // Вестник Санкт-Петербургского университета. — 2011. — Сер. 7. — Вып. 3. — С. 43—48.

2. *Бугаева Г. Г.*, *Когут А. В.* Факторы экологического риска в зоне действия открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — ОВ 15. — С. 292—296. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/faktory-ecologicheskogo-riska (дата обращения 07.11.2017).

3. *Калыбеков Т.* Системный анализ геоэкологического риска технологических процессов открытых горных работ // Горный журнал Казахстана. — 2013. — № 7. — С. 41—43.

4. *Tosovic R.* Expert economic evaluation of mineral resources in the function of environmental protection // International Journal of Research — GRANTHAALAYAH. 2016. Vol. 4. Iss. 5. pp. 106—114.

5. *Рудский В. В.* Категория экологического риска в географических исследованиях // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10 (часть 14). — С. 3153—3156.

6. *Курчин Г. С.*, *Волков Е. П.*, *Зайцева Е. В.*, *Кирсанов А. К.* Проблемы экологии при добыче нерудных строительных материалов в России // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 6. URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10500 (дата обращения 07.11.2017).

7. *Raška P., Balej M., Raška M.* Differential evolution of rockwall and talus cones in abandoned basalt quarries and its implications for restoration management: case study from the Radobyl Hill, N Czech Republic // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2011. Vol. 25. no 4, special is.: Environmental Aspects of Mining and Reclamation. pp. 297—312.

8. *Edwards D. P., Sloan S., Weng L., Dirks P., Sayer J., Laurance W. F.* Mining and the African environment // Conservation Letters. 2014. no 7 (3). pp. 302—311.

9. *Шевелева А. В.*, *Шварцман Ю. Г.* Проблемы экологической безопасности при разработке месторождения алмазов имени Ломоносова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Естественные науки. — 2012. — № 2. — С. 40—46.

10. *Pavloudakis F., Galetakis M., Roumpos Ch.* A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pit coal mines in Greece // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2009. Vol. 23. no 4. pp. 291—303.

11. *Simon-Coincon R.*, *Spain A. V.*, *Milnes A. R.* Landform processes in the post coal-mining Landscape, Bowen Basin, Australia. A geomorphological approach // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 2003. Vol. 17. no 1. pp. 20—50.

12. *Schueler V., Kuemmerle T., Schröder H.* Impacts of surface gold mining on land use systems in Western Ghana // AMBIO. 2011. no 40. pp. 528—539.

13. *Yan C., Dai H., Guo W.* Evaluation of ecological environmental quality in a coal mining area by modelling approach // Sustainability. 2017. no 9 (1265). URL: www.mdpi.com/journal/sustainability (дата обращения 08.11.2017).

14. *Борисков Ф. Ф.*, *Кантемиров В. Д.* Экологические риски при освоении месторождений твердых полезных ископаемых в северных регионах Урала // Экология и промышленность России. — 2016. — № 20 (6). — С. 54—57.

15. *Терещенко С. В.*, *Алексеева С. А.*, *Рухленко Е. Д. и др.* О возможности переработки техногенных отходов добычи флогопитового сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 10. — С. 186—193. URL: http://www.giab-online.ru/catalog/12230 (дата обращения 08.11.2017).

16. *Худякова Л. И.*, *Кислов Е. В.*, *Войлошников О. В.* Дуниты северного Прибайкалья и пути их использования // Горный журнал. — 2013. — № 10. — С. 4—6.

17. *Худякова Л. И.* Комплексное освоение минеральных ресурсов на месторождениях Северо-Байкальской рудной зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 7. — С. 112—114. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Худякова Людмила Ивановна[1] — кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru,
Войлошников Олег Васильевич[1] — кандидат технических наук,
ведущий инженер, e-mail: ovod@binm.bscnet.ru,
[1] Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН (БИП СО РАН).

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 111–117.

L.I. Khudyakova, O.V. Voiloshnikov

GEOCOLOGICAL RISKS AND MITIGATION IN MAGNESIUM SILICATE DEPOSIT MINING

Mineral mining exerts aggravating effect on environment. All components of the environment, namely, lithosphere, atmosphere, hydrosphere and biosphere, are susceptible to geoecological risks. The risk extent is governed by the type of a mineral deposit, its geographical location and a method of mining. Russia possesses many deposits composed of magnesium silicates. Majority of such deposits are developed using open pit mining method. The basic environmental impact is exerted by overburden dumps in this case. Geoecological risks due to magnesium silicate-based rock dumps are illustrated in terms of mineral deposits located in the North Baikal ore zone. The adverse effect is connected with agricultural land withdrawal and disfigurement of the natural landscape. Land is polluted by copper, chromium and iron components washed out from dump waste by atmospheric precipitation. The pollutants penetrate through soil cover, get into ground and surface water and accumulate in plants. Simultaneously, finely dispersed particles are carried by wind over long distances, settle on the ground and also contaminate natural areas. Dumps cause transboundary pollution. For this reason, it is necessary to minimize the risks by efficient management of waste represented by overburden and country rocks. The key branch using waste is the construction industry. The tests of magnesium silicate roadstone show that it belongs to group I, has high grade crushability and wearability and is free from harmful components. This material is applicable in all areas of construction. The studies show that high quality concrete can be produced based on magnesium silicate rocks. Finely milled fractions of magnesium silicates are usable in ceramics manufacture. Road concrete mixes made of mineral powder and magnesium silicate filler are applicable in road making in the conditions of the North.

Key words: mineral despots, environmental impact, geoecological risks, mining industry waste, dumps, magnesium silicate rocks, roadstone, construction materials.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-111-117

AUTHORS

Khudyakova L.I.[1], Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru,
Voiloshnikov O.V.[1], Candidate of Technical Sciences,
Leading Engineer, e-mail: ovod@binm.bscnet.ru,
[1] Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 670047, Ulan-Ude, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The studies have been supported under the state contract with the Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Project No. 0339-2016-0004.

REFERENCES

1. Belyaev A.M. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. 2011. Ser. 7. Vyp. 3, pp. 43—48.
2. Bugaeva G.G., Kogut A.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007. OV 15, pp. 292—296, available at: http://cyberleninka.ru/article/n/faktory-ecologicheskogo-riska (accessed 07.11.2017).
3. Kalybekov T. Gornyy zhurnal Kazakhstana. 2013, no 7, pp. 41—43.
4. Tosovic R. Expert economic evaluation of mineral resources in the function of environmental protection. *International Journal of Research GRANTHAALAYAH*. 2016. Vol. 4. Iss. 5. pp. 106—114.
5. Rudskiy V.V. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013, no 10 (part 14), pp. 3153—3156.
6. Kurchin G.S., Volkov E.P., Zaytseva E.V., Kirsanov A.K. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013, no 6, available at: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10500 (accessed 07.11.2017).
7. Raška P., Balej M., Raška M. Differential evolution of rockwall and talus cones in abandoned basalt quarries and its implications for restoration management: case study from the Radobyl Hill,

N Czech Republic. I*nternational Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2011. Vol. 25. no 4, special is: Environmental Aspects of Mining and Reclamation. pp. 297—312.

8. Edwards D. P., Sloan S., Weng L., Dirks P., Sayer J., Laurance W. F. Mining and the African environment. *Conservation Letters*. 2014. no 7 (3). pp. 302—311.

9. Sheveleva A. V., Shvartsman Yu. G. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2012, no 2, pp. 40—46.

10. Pavloudakis F., Galetakis M., Roumpos Ch. A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pit coal mines in Greece. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2009. Vol. 23. no 4. pp. 291—303.

11. Simon-Coincon R., Spain A. V., Milnes A. R. Landform processes in the post coal-mining Landscape, Bowen Basin, Australia. A geomorphological approach. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 2003. Vol. 17. no 1. pp. 20—50.

12. Schueler V., Kuemmerle T., Schröder H. Impacts of surface gold mining on land use systems in Western Ghana. *AMBIO*. 2011. no 40. pp. 528—539.

13. Yan C., Dai H., Guo W. Evaluation of ecological environmental quality in a coal mining area by modelling approach. *Sustainability*. 2017, no 9 (1265), available at: www.mdpi.com/journal/sustainability (accessed 08.11.2017).

14. Boriskov F. F., Kantemirov V. D. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2016, no 20 (6), pp. 54—57.

15. Tereshchenko S. V., Alekseeva S. A., Rukhlenko E. D. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 10, pp. 186—193, available at: http://www.giab-online.ru/catalog/12230 (accessed 08.11.2017).

16. Khudyakova L. I., Kislov E. V., Voyloshnikov O. V. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 10, pp. 4—6.

17. Khudyakova L. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 7, pp. 112—114.

FIGURE

Geoecological risks of magnesium silicate rock dumping.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСЛОЙНОГО ИЗБИРАТЕЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В КОНУСНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ДРОБИЛКЕ

(2017, № 12, СВ 27, 12 с.)

Романова Виктория Сергеевна[1] — аспирант, e-mail: vica_00281@mail.ru,
Габов Виктор Васильевич[1] — доктор технических наук, профессор, e-mail: gvv40@mail.ru,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.

Рассмотрен процесс дезинтеграции породы на принципах селективного и избирательного разрушения в высокочастотных конусных вибрационных дробилках со свободно-поворотным внутренним конусом. Процесс взаимодействия рабочих поверхностей конусов с дробимым материалом в горизонтальном сечении камеры дробления в i-ый момент времени представлен четырьмя зонами: активного силового воздействия, ослабления нагрузки, свободного смещения материалов и сближения конусов с ограничением перемещений дробимого материала. На основе известного способа определения предела прочности горных пород, предложен способ исследования послойного процесса разрушения кусков породы с поверхности при многократных и разносторонних силовых воздействиях.

Ключевые слова: порода, дезинтеграция, дробилка, селективность, избирательность, послойное разрушение.

RESEARCH OF THE PROCESS OF LAYER-BY-LAYER SELECTIVE DESTRUCTIONS OF MATERIALS IN CONE VIBRATION CRUSHER

Romanova V.S.[1], Graduate Student; *Gabov V.V.*[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
[1] Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The main principles of disintegration of the breed on the principles of selective and selective destruction in high-frequency cone vibratory crushers with a free-turning inner cone are considered. The process of interaction of the working surfaces of cones with a crushing material in the horizontal section of the crushing chamber at the time moment is represented by four zones: load reduction, free displacement of materials and convergence of cones with restriction of displacements of a crushed material. Based on the known method of determining ultimate strength of rocks, a method is proposed for investigating a layer-by-layer process of ore destruction from a surface under multiple and many-sided effects.

Key words: rock, disintegration, crusher, selectivity, discrimination, layer-by-layer destruction.