



Краткие сообщения / Brief reports
Оригинальная статья / Original article
УДК 691.004.8, 504.062.2
DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-157-165

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРУДНОГО СЫРЬЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

¹Людмила И. Худякова*, ²Светлана С. Тимофеева

¹Байкальский институт природопользования
Сибирского отделения Российской академии наук,
Улан-Удэ, Россия, lkhud@binm.bscnet.ru

²Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск, Россия

Резюме. Цель. Медно-никелевые месторождения расположены по всему миру. При их разработке образуется большое количество нерудного сырья. Оно перемещается в отвалы и создает экологические риски для окружающей среды. В отвалах преобладают магнийсодержащие породы, которые необходимо утилизировать. Цель работы – изучить возможность их использования в производстве строительных материалов. **Методы.** Химический анализ выполнялся методами гравиметрии, фотометрии, атомно-адсорбционной спектроскопии. Минеральный состав изучен с помощью рентгенофазового анализа. Механические показатели определялись на испытательном гидравлическом прессе. **Результаты.** Установлено, что щебень из магнийсодержащих пород имеет высокое качество и может использоваться как крупный заполнитель при получении бетонов. Показано, что большую прочность имеют бетоны, содержащие в своем составе щебень из ультраосновных пород – верлитов, наименьшие показатели у бетона на гранитном щебне. Вид условий твердения также оказывает влияние на прочность получаемого материала. Песок из отсевов дробления горной массы имеет минеральный состав как у материнской породы, а также угловатую форму зерен. Это способствует компоновке плотной структуры бетонного камня, повышающей его прочность более чем на 10%. **Заключение.** Использование нерудного сырья сократит объемы отвальных пород, образующихся при добыче полезных ископаемых. При этом можно получать готовый товарный продукт – щебень из магнийсодержащих пород и песок от их дробления. Это позволит решить экологические, экономические проблемы, а также производить необходимые строительные материалы для собственных нужд.

Ключевые слова: нерудное сырье, магнийсодержащие породы, отходы горнодобывающей промышленности, бетоны, щебень, песок, минералогический состав, гранулометрический состав, предел прочности на сжатие.

Формат цитирования: Худякова Л.И., Тимофеева С.С. Практическое использование нерудного сырья медно-никелевых месторождений // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N4. С.157-165. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-157-165

PRACTICAL USE OF NONMETALLIFEROUS RAW MATERIALS COPPER-NICKEL DEPOSITS

¹Liudmila I. Khudyakova*, ²Svetlana S. Timofeeva

¹Baikal institute of nature management
Siberian branch of the Russian academy of sciences,
Ulan-Ude, Russia, lkhud@binm.bscnet.ru

²Irkutsk national research technical university,
Irkutsk, Russia



Abstract. Aim. Copper-nickel deposits are located all over the world. A large amount of nonmetalliferous raw materials is formed, when they are developed. It moves into dumps and creates environmental risks for the environment. In the dumps magnesium-containing rocks prevail, which must be disposed of. The purpose of the work is to study the possibility of their use in the production of building materials. **Methods.** The chemical analysis was carried out by gravimetry, photometry, and atomic-absorption spectroscopy. The mineral composition was studied using X-ray phase analysis. The mechanical parameters were determined on a test hydraulic press. **Results.** It is established that the crushed stone from magnesium-bearing rocks is of high quality and can be used as a large aggregate in the production of concretes. It is shown that the concrete, containing crushed stone from ultrabasic rocks - verlites show the most compression strength. The lowest values has ordinary concrete on granite crushed stone. The type of hardening conditions also affects the strength of the resulting material. Sand from the sifting of crushing rock mass has angular shape of the grains and a mineral composition as in the parent rock. This contributes to the design of a dense structure of concrete stone, which increases its strength by more than 10%. **Main conclusions.** The use non-metalliferous raw materials will reduce the volumes of waste rock formed during the development of mineral deposits. In this case, it is possible to obtain a finished commodity product - crushed stone from magnesium-containing rocks and sand from their crushing. This will solve environmental, economic problems, as well as produce the necessary building materials for their own needs.

Keywords: nonmetalliferous raw materials, magnesium-containing rocks, mining industry waste, concrete, crushed stone, sand, mineralogical composition, granulometric composition, compression strength

For citation: Khudyakova L.I., Timofeeva S.S. Practical use of nonmetalliferous raw materials copper-nickel deposits. *South of Russia: ecology, development*. 2018, vol. 13, no. 4, pp. 157-165. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-157-165

ВВЕДЕНИЕ

В мире находится большое количество медно-никелевых месторождений, которые расположены в России, США, Канаде, ЮАР [1], Бразилии [2], Египте [3], Австралии [4], Китае [5-7] и др. странах. В нашей стране они встречаются на территории Станового хребта, Красноярского края, Северного Прибайкалья [8-10]. Освоение данных массивов сопровождается большим объемом вскрышных и вмещающих пород, которые, перемещаясь в отвалы, создают экологические риски для окружающей природной среды. К настоящему времени объемы производства меди и никеля в России возрастают, что связано, в том числе, и с интенсификацией отработки старых и введением в эксплуатацию новых месторождений. Это приводит к увеличению численности отвалов, в которых находится огромное количество магнийсодержащих пород, не нашедших практического применения. Данные виды пород характерны и для гипербазитовых массивов, расположенных, в частности, на Юге России [11].

Отвалы занимают большие территории вблизи разрабатываемых месторожде-

ний, а их воздействие на окружающую среду носит трансграничный характер. Однако отвальные породы необходимо рассматривать не только как источники загрязнения, но и как потенциальные минеральные ресурсы [12]. Основное направление использования отходов горного производства – отрасли стройиндустрии. Применяя различные технологические подходы, можно получать из них широкий спектр строительных материалов [13-15], в том числе бетонов [16], где горные отходы перспективны для использования как в качестве крупного [17; 18], так и мелкого [19-21] заполнителей. Однако, магнийсодержащие породы в процессе изготовления строительных материалов не применяются, оставаясь лежать в отвалах по причине предвзятого к ним отношения. Поэтому, вопросы их утилизации являются актуальными и требуют дальнейшей проработки.

Целью настоящей работы явилось установление возможности использования магнийсодержащих отходов горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов.



МЕТОДЫ

В качестве объектов исследований были выбраны верлиты и троктолиты Северного Прибайкалья [22].

При выполнении поставленных задач был применен комплексный подход, включающий проведение химического, рентгенофазового анализов, а также физико-механических испытаний.

Химический анализ выполнялся методами гравиметрии с использованием весов ВСЛ-200/0,1А; фотометрии на спектрофотометре КФК-2МП; атомно-адсорбционной

спектроскопии на спектрофотометре SOLAAR M.

Рентгенофазовый анализ проводился на порошковом автоматическом дифрактометре D8 Advance фирмы BrukerAXS с соответствующим программным обеспечением со скоростью угломера 2° в минуту в интервале от 4 до 70° .

Механические испытания выполнялись на испытательном гидравлическом прессе ПГМ-100 на образцах – кубах с размером ребра 100 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Верлиты и троктолиты Северного Прибайкалья представляют собой магнийсо-

держащие породы следующего химического состава (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав магнийсодержащих пород

Table 1

Chemical composition of magnesium-containing rocks

Порода Rock	Содержание основных компонентов, масс. % Content of main components, mass. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O
Верлит / Wehlite	39,70	1,80	43,83	0,81	0,42	10,70	0,12	0,07
Троктолит / Troctolite	40,60	12,00	28,60	5,57	1,11	9,45	0,57	0,04

Как видно из полученных данных, верлит является породой ультраосновного, а троктолит – основного состава. Они различаются количественным содержанием оксидов Al₂O₃, MgO и CaO.

С помощью рентгенофазового анализа изучен минералогический состав данных пород, который показал, что в спектрах верлита и троктолита присутствуют линии минералов группы оливина: оливина, форстерита и фаялита. Кроме того, на рентгенограмме верлита наблюдаются линии диопсида, а у троктолита присутствуют рефлексы анортита, лабрадора и альбита. Таким образом установлено, что верлиты состоят, в основном, из минералов группы оливина, а в троктолитах, помимо этого, присутствуют минералы плагиоклаза.

Были исследованы физико-механические свойства магнийсодержащих пород и, в первую очередь, их радиационная безопасность, которая определялась по ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эф-

фективной активности естественных радионуклидов» [23]. Полученные значения суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ для верлита 107,9 Бк/кг и троктолита 131,7 Бк/кг свидетельствуют о том, что породы можно использовать повсеместно для всех видов строительных работ.

Исследован гранулометрический состав дробленных магнийсодержащих пород смеси фракций от 5 (3) до 20 мм, который представлен на рисунке 1.

Ситовой анализ показал, что по гранулометрическому составу щебень из исследуемых пород соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» [24].

В результате изучения физико-механических показателей магнийсодержащих пород установлено, что это однородные прочные породы, имеющие марку по дробности 1200 и не содержащие зерен слабых пород. При их дроблении образуются зерна



кубовидной формы, на основании чего щебень относится к I группе, где содержание зерен пластинчатой и игловатой формы не превышает 10 масс. %. Породы устойчивы к

воздействию различных сред. Они не содержат пылевидных, илистых и глинистых частиц, оказывающих негативное влияние на морозостойкость материалов.

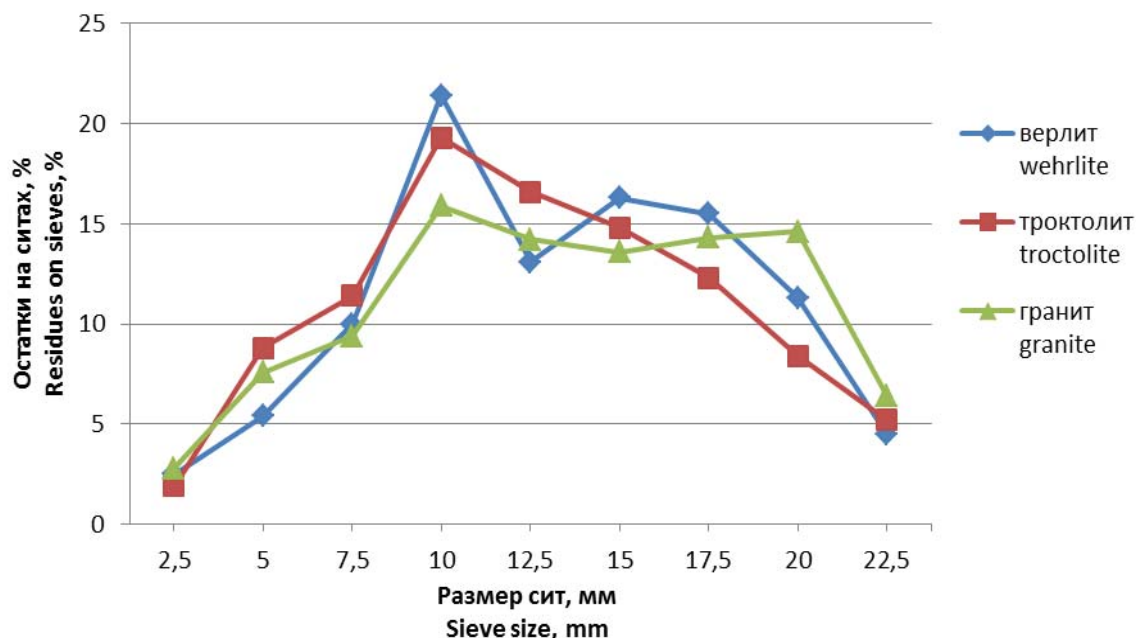


Рис.1. Кривые распределения щебня по размерам сит
Fig.1. Curves for the distribution of crushed stone in sieve sizes

Проведенные исследования показали высокое качество щебня из магнийсодержащих пород, соответствующее требованиям ГОСТ 8267-93 [24], что дает возможность использования его для всех видов строительных работ.

Освоение любого месторождения сопровождается возведением соответствующей инфраструктуры. Для этого требуется большой объем строительных материалов, изготавливаемых из природного минерального сырья. В данном случае, перспективным является использование нерудного сырья высокого качества, находящегося в отвалах. Им можно частично или полностью заменить традиционные сырьевые материалы при получении различных видов товарной продукции, в частности, бетонов. Вовлечение магнийсиликатных пород в производство бетонов показано на примере верлитов и троктолитов Северного Прибайкалья, которыми замещали традиционно используемый гранитный щебень.

Исследования включали в себя изучение влияния видов щебня и времени твердения бетонных образцов на формирующуюся прочность полученных материалов. При этом, часть образцов 28 суток находилась в нормально-влажностных условиях, а часть подвергалась тепловлажностной обработке (ТВО) в течение 11 часов при температуре $90 \pm 5^\circ\text{C}$. Бетоны готовились на трех видах крупного заполнителя из верлита, троктолита и гранита. В качестве мелкого заполнителя применялся кварц-полевошпатовый песок с модулем крупности $M_k=2,5$. Для связывания компонентов использовали портландцемент марки М400Д0 Тимлюйского цементного завода.

Полученные результаты (рис. 2) наглядно свидетельствуют о влиянии вида щебня и продолжительности твердения на прочностные показатели бетонных образцов.

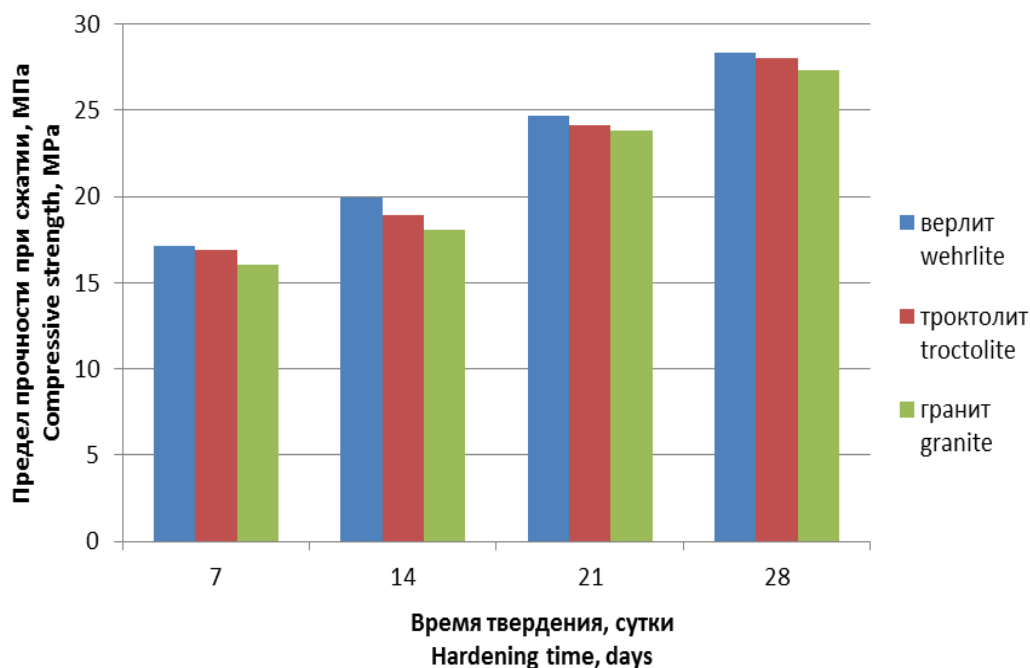


Рис.2. Зависимость прочности образцов бетонов от вида щебня и времени твердения

Fig.2. Dependence of the strength of concrete samples on the type of crushed stone and hardening time

Большую прочность имеют бетоны, содержащие в своем составе щебень из ультраосновных пород – верлитов, наименьшие показатели у обычного бетона на гранитном щебне. Уже к 7 суткам нормально-влажностного твердения образцы с щебнем из магнийсодержащих пород набрали более 60% от прочности в возрасте 28 суток. К 21 суткам твердения этот показатель составил 87%. Прочность при сжатии образцов бетонов, подвергнутых тепловлажностной обработке, также зависит от вида крупного заполнителя и находится в пределах 18-20 МПа.

Введенные в бетонную смесь магнийсодержащие породы проявили высокую адгезионную прочность в зоне контакта с цементом, способствуя образованию между ними полостей небольшой толщины, что сказывается на повышении механических характеристик полученных материалов.

Выполненный комплекс исследований показал возможность использования данных видов пород в составе бетонов, что будет способствовать вовлечению их в производственный цикл. После дробления вскрышные породы должны поступать на грохоче-

ние с целью разделения по классам крупности, а затем отгружаться потребителю. Схема вовлечения магнийсодержащих пород в производственный цикл представлена на рисунке 3.

Необходимо отметить, что параллельно со щебнем образуется песок из отсевов дробления горной массы. Он характеризуется тем же минеральным составом, что и материнская порода, а также угловатой формой зерен. Это способствует компоновке плотной структуры бетонного камня, повышающей его физико-механические свойства. Так, например, замена кварцполевошпатового песка на отсевы дробления верлитов или троктолитов способствует повышению прочности бетонов более чем на 10%. Поэтому на рисунке показано, что в производстве можно использовать как природный песок, так и отсевы дробления пород.

Кроме того, заменяя традиционные сырьевые материалы на горные отходы, можно сохранить порядка 2000 кг минеральных ресурсов при получении 1 м³ бетона.

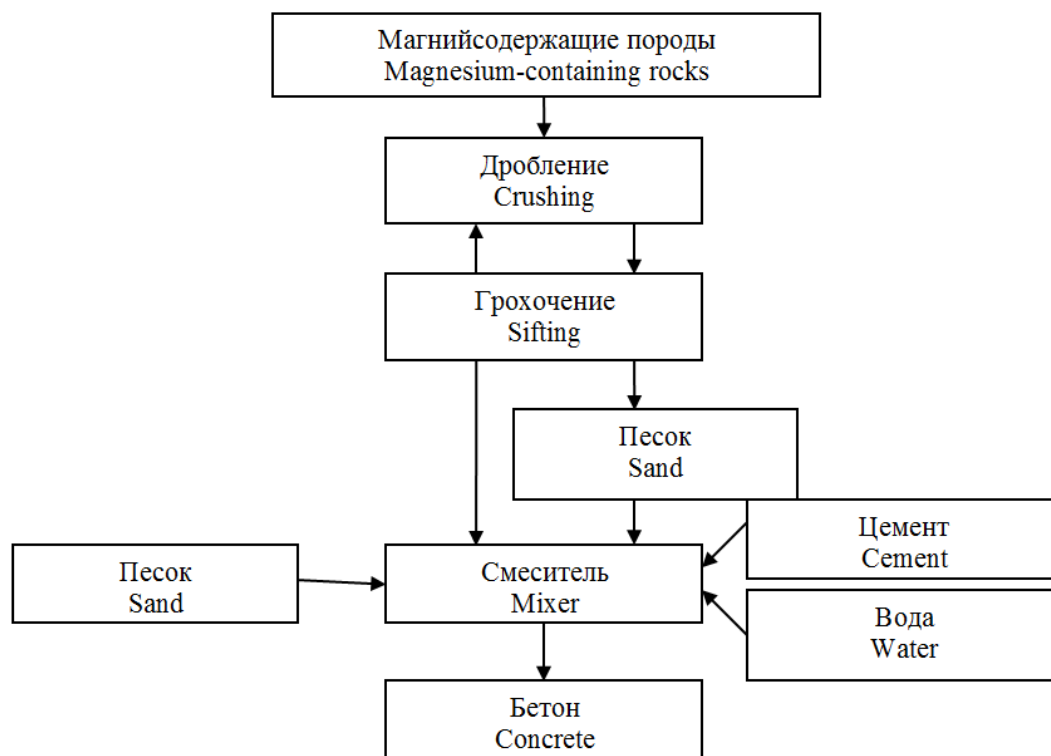


Рис.3. Принципиальная технологическая схема использования магнийсодержащих пород при получении бетонов
Fig.3. The basic technological scheme of use magnesium-containing rocks in the production of concretes

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нерудное сырье медно-никелевых месторождений, представленное магнийсодержащими вскрышными и вмещающими породами, является заменой традиционно используемому граниту при производстве тяжелых бетонов. Щебень из него имеет высокое качество и обеспечивает улучшение физико-механических свойств полученных материалов. Отсевы дробления пород являются высококачественной альтернативой природным пескам и способ-

ствуют образованию плотной структуры бетонного композита.

Проведенные исследования показывают, что при добыче рудного сырья можно параллельно получать готовый товарный продукт – щебень из магнийсодержащих пород, а также песок от их дробления. Это позволит решить экологические, экономические проблемы, а также производить необходимые строительные материалы для собственных нужд.

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

Acknowledgment: This work was carried out within the framework of the state task of BINM SB RAS (project No. 0339-2016-0004).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб.: СПбГУ, 2003. 487 с.
2. Salgado S.S., Ferreira Filho C.F., de Andrade Caxito F., Uhlein A., Dantas E.L., Stevenson R. The Ni-Cu-PGE mineralized Brejo Seco mafic-ultramafic layered intrusion, Riacho do Pontal Orogen: Onset of Tonian

- (ca. 900 Ma) continental rifting in Northeast Brazil // Journal of South American Earth Sciences. 2016. V. 70. P. 324-339. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.06.001
3. Sharara N.A., Wilson G.C., Rucklidge J.C. Platinum-group elements and gold in Cu-Ni-mineralized peridotite at Gabbro Akarem, Eastern Desert, Egypt // Canadian Mineralogist. 1999. V. 37. Iss. 5. P. 1081-1097.



4. Sproule R.A., Lambert D.D., Hoatson D.M. Re-Os isotopic constraints on the genesis of the Sally Malay Ni-Cu-Co deposit, East Kimberley, Western Australia // *Lithos*. 1999. V. 47. Iss. 1-2. P. 89-106. DOI: 10.1016/S0024-4937(99)00009-2
5. Gao J-F., Zhou M-F., Lightfoot P.C., Wang C.Y., Qi L. Origin of PGE-poor and Cu-rich magmatic sulfides from the Kalatongke deposit, Xinjiang, Northwest China // *Economic Geology*. 2012. V. 107. Iss. 3. P. 481-506. DOI: 10.2113/econgeo.107.3.481
6. Chai F.M., Zhang Z.C., Mao J.W., Dong L.H., Zhang Z.H., Wu H. Geology, petrology and geochemistry of the Baishiquan Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in Xinjiang, NW China: implications for tectonics and genesis of ores // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2008. V. 32. Iss. 2-4. P. 218-235. DOI: 10.1016/j.jseae.2007.10.014
7. Tang D., Qin K., Xue S., Mao Y., Evans N.J., Niu Y., Chen J. Genesis of the Permian Kemozibayi sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion in Altay, NW China: Evidence from zircon geochronology, Hf and O isotopes and mineral chemistry // *Lithos*. 2017. V. 292-293. P. 49-68. DOI: 10.1016/j.lithos.2017.08.021
8. Кривенко А.П., Глотов А.И., Балыкин П.А. и др. Медь-никеленосные габброидные формации складчатых областей Сибири. Новосибирск: Наука, 1990. 237 с.
9. Бучко И.В., Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Изох А.Э. Геохимические особенности и геодинамическая обстановка формирования Лукиндинского дунит-троктолит-габбрового массива (юго-восточное обрамление Сибирской платформы) // *Геология и геофизика*. 2012. Т. 53. N7. С. 834-850.
10. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Родоначальный расплав и геодинамика расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов Канской глыбы Восточного Саяна // *Известия Томского политехнического университета*. 2014. Т. 324. N 1. С. 128-137.
11. Парада С.Г. Предпосылки и признаки платиноносности гипербазитовых массивов Северного Кавказа // *Наука Юга России*. 2017. Т. 13. N 1. С. 59-73. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-59-73
12. Lèbre É., Corder G.D., Golev A. Sustainable practices in the management of mining waste: A focus on the mineral resource // *Minerals Engineering*. 2017. V. 107. P. 34-42. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.12.004
13. Мавлянов А.С., Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т. Формирование местной сырьевой базы строительной индустрии // *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2016. N 1. С. 29-33.
14. Ключев С.В., Ключев А.В., Гафарова Н.Е. К вопросу утилизации отходов ракушечника для производства фибробетонов // *Успехи современной науки*. 2017. Т. 4. N 2. С. 151-154.
15. Лыгина Т.З., Лузин В.П., Корнилов А.В. Техногенные отходы нерудного сырья в производстве строительных материалов // *Известия КГАСУ*. 2017. N 4(42). С. 303-313.
16. Рахимова Г.М., Тажибаева Д.М., Икишева А.О., Дадиева М.К., Дивак Л.А., Иманова М.А. Песок и щебень из отходов обогащения железной руды для мелкозернистого бетона // *Фундаментальные исследования*. 2013. N 10-11. С. 2445-2449.
17. Kore S.D., Vyas A.K. Performance evaluation of concrete using marble mining waste // *Journal of Civil Engineering*. 2016. V. 11. Iss. 2. P. 53-66. DOI: 10.1515/sspjce-2016-0018
18. Kuranchie F.A., Shukla S.K., Habibi D., Mohyeddin A. Utilization of iron ore tailings as aggregates in concrete // *Cogent Engineering*. 2015. V. 2. Iss. 1. Article 1083137. DOI: 10.1080/23311916.2015.1083137
19. Rana A., Kalla P., Csetenyi L.J. Recycling of dimension limestone industry waste in concrete // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017. V. 31. Iss. 4. P. 231-250. DOI: 10.1080/17480930.2016.1138571
20. Sheoran A. Use of base metal tailings from mining industry in concrete: a review // *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*. 2017. V. 7. Iss. 6. P. 1-9. Available at: <http://euroasiapub.org/journals.php> (accessed 17.04.2018)
21. Gopez R.G. Utilizing mine tailings as substitute construction material: the use of waste materials in roller compacted concrete // *Open Access Library Journal*. 2015. V. 2. N 12. P. 1-9. DOI: 10.4236/oalib.1102199
22. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд. БНЦ СО РАН, 1998. 264 с.
23. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. М.: Стандартинформ, 1995. 11 с.
24. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 1995. 21 с.

REFERENCES

1. Naldrett A.Dj. *Magmaticeskiye sul'fidnyye mes-torozhdeniya medno-nikelevykh i platinometall'nykh rud* [Magmatic Sulfide Deposits of Copper-nickel and Platinum-metal Ores]. SPb., SPbGU Publ., 2003, 487 p. (In Russian)
2. Salgado S.S., Ferreira Filho C.F., de Andrade Caxito F., Uhlein A., Dantas E.L., Stevenson R. The Ni-Cu-PGE mineralized Brejo Seco mafic-ultramafic layered intrusion, Riacho do Pontal Orogen: Onset of Tonian (ca. 900 Ma) continental rifting in Northeast Brazil.



- Journal of South American Earth Sciences*, 2016, vol. 70, pp. 324-339. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.06.001
3. Sharara N.A., Wilson G.C., Rucklidge J.C. Platinum-group elements and gold in Cu-Ni-mineralized peridotite at Gabbro Akarem, Eastern Desert, Egypt. *Canadian Mineralogist*. 1999, vol. 37, iss. 5, pp. 1081-1097.
4. Sproule R.A., Lambert D.D., Hoatson D.M. Re-Os isotopic constraints on the genesis of the Sally Malay Ni-Cu-Co deposit, East Kimberley, Western Australia. *Lithos*, 1999, vol. 47, iss. 1-2, pp. 89-106. DOI: 10.1016/S0024-4937(99)00009-2
5. Gao J-F., Zhou M-F., Lightfoot P.C., Wang C.Y., Qi L. Origin of PGE-poor and Cu-rich magmatic sulfides from the Kalatongke deposit, Xinjiang, Northwest China. *Economic Geology*, 2012, vol. 107, iss. 3, pp. 481-506. DOI: 10.2113/econgeo.107.3.481
6. Chai F.M., Zhang Z.C., Mao J.W., Dong L.H., Zhang Z.H., Wu H. Geology, petrology and geochemistry of the Baishiquan Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in Xinjiang, NW China: implications for tectonics and genesis of ores. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, vol. 32, iss. 2-4, pp. 218-235. DOI: 10.1016/j.jseaes.2007.10.014
7. Tang D., Qin K., Xue S., Mao Y., Evans N.J., Niu Y., Chen J. Genesis of the Permian Kemozibayi sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion in Altay, NW China: Evidence from zircon geochronology, Hf and O isotopes and mineral chemistry. *Lithos*, 2017, vol. 292-293, pp. 49-68. DOI: 10.1016/j.lithos.2017.08.021
8. Krivenko A.P., Glotov A.I., Balykin P.F. et al. *Med'nikelenosnyye gabbroidnyye formatsii skladchatykh oblastey Sibiri* [Copper-nickel-bearing gabbroid formations of the folded regions of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990, 237 p. (In Russian)
9. Buchko I.V., Sorokin A.A., Ponomarchuk V.A., Izokh A.E. Geochemical Features and Geodynamic Setting of Formation of the Lukinda Dunite-troctolite-gabbro Massif (southeastern framing of the Siberian Platform). *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. 2012, vol. 53, no. 7, pp. 834-850. (In Russian)
10. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Parental Melt and Geodynamics of the Layered Mafic-ultramafic Massifs of the Kan Block of Eastern Sayan. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2014, vol. 324, no. 1, pp. 128-137. (In Russian)
11. Parada S.G. Background and characteristics of Pt potential ultrabasic massifs of the North Caucasus. *Science in the South Russia*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 59-73. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-59-73 (In Russian)
12. Lèbre É., Corder G.D., Golev A. Sustainable practices in the management of mining waste: A focus on the mineral resource. *Minerals Engineering*, 2017, vol. 107, pp. 34-42. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.12.004
13. Mavlyanov A.S., Abdykalykov A.A., Assakunova B.T. Formation of a Local Source of Raw Materials of Constructional Industry. *Nauka, novyye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana* [Science, New Technologies and Innovations in Kyrgyzstan]. 2016, no. 1, pp. 29-33. (In Russian)
14. Klyuyev S.V., Klyuyev A.V., Gafarova N.E. To the Question of Recycling the Waste Materials of Shell Limestone for Fibre Concrete Production. *Uspekhi sovremennoy nauki* [Modern Science Successes]. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 151-154. (In Russian)
15. Lygina T.Z., Luzin V.P., Kornilov A.V. Technogenic Waste of Non-metallic Raw Materials in the Building Materials Production. *Izvestiya KGASU* [News of the KSUAE]. 2017, no. 4 (42), pp. 303-313. (In Russian)
16. Rakhimova G.M., Tajibaeva D.M., Ikisheva A.O., Dadieva M.K., Divak L.A., Imanova M.A. Sand and Rubble From Beneficiation Wastes of Iron Ores for Fine-grained Concrete. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2013, no. 10-11, pp. 2445-2449. (In Russian)
17. Kore S.D., Vyas A.K. Performance evaluation of concrete using marble mining waste. *Journal of Civil Engineering*, 2016, vol. 11, iss. 2, pp. 53-66. DOI: 10.1515/jssjce-2016-0018
18. Kuranchie F.A., Shukla S.K., Habibi D., Mohyeddin A. Utilization of iron ore tailings as aggregates in concrete. *Cogent Engineering*, 2015, vol. 2, iss. 1, article 1083137. DOI: 10.1080/23311916.2015.1083137
19. Rana A., Kalla P., Csetenyi L.J. Recycling of dimension limestone industry waste in concrete. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 2017, vol. 31, iss. 4, pp. 231-250. DOI: 10.1080/17480930.2016.1138571
20. Sheoran A. Use of base metal tailings from mining industry in concrete: a review. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 7, iss. 6, pp. 1-9. Available at: <http://euroasiapub.org/journals.php> (accessed 17.04.2018)
21. Gopez R.G. Utilizing mine tailings as substitute construction material: the use of waste materials in roller compacted concrete. *Open Access Library Journal*, 2015, vol. 2, no. 12, pp. 1-9. DOI: 10.4236/oalib.1102199
22. Kislov E.V. *Yoko-Dovyrenskiy rassloyennyy massiv* [Yoko-Dovyrensky layered massif]. Ulan-Ude, BSC SB RAS Publ., 1998, 264 p. (In Russian)
23. GOST 30108-94. Building materials and elements. Determination of specific activity of natural radioactive nuclei. Moscow, Standartinform Publ., 1995, 11 p. (In Russian)
24. GOST 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1995, 21 p. (In Russian)



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Людмила И. Худякова* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии и технологии природного сырья, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, тел.: 89516383724, ул. Сахьяновой, 6, г. Улан-Удэ, 670047 Россия, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru

Светлана С. Тимофеева – доктор технических наук, заведующая кафедрой промэкологии и БЖД, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия.

Критерии авторства

Людмила И. Худякова выполняла экспериментальную часть работы, написала рукопись. Светлана С. Тимофеева проанализировала данные. Авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.07.2018

Принята в печать 25.09.2018

AUTHORS INFORMATION

Affiliations

Liudmila I. Khudyakova* – Candidate of technical sciences, Senior researcher of laboratory of chemistry and technology of natural resources, Baikal institute of nature management Siberian branch of the Russian academy of sciences, tel.: 89516383724, Sakhyanovoy str., 6, Ulan-Ude, Russia, 670047, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru

Svetlana S. Timofeeva – Doctor technical sciences, Professor, director chair of industrial ecology and BJD, Federal state budget educational institution of higher education «Irkutsk national research technical university», Irkutsk, Russia.

Contribution

Liudmila I. Khudyakova performed the experimental part of the work, wrote the manuscript. Svetlana S. Timofeeva analyzed data. All authors are equally responsible for detecting plagiarism and other unethical problems.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.07.2018

Accepted for publication 25.09.2018