

УДК 330.15; 666.972

## Пути повышения рационального природопользования на примере Северо-Байкальского рудного района

Л.И. Худякова<sup>а\*</sup>,

О.В. Войлошников<sup>а</sup>, Е.В. Кислов<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Байкальский институт природопользования СО РАН,  
Россия 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,

<sup>б</sup> Геологический институт СО РАН,  
Россия 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а<sup>1</sup>

Received 5.04.2011, received in revised form 12.04.2011, accepted 19.04.2011

*Рассмотрены пути повышения рационального природопользования при освоении месторождений полезных ископаемых. Изучена возможность использования магнийсиликатных горных пород Йоко-Довыренского массива, находящихся среди вскрышных и отвальных пород, в производстве строительных материалов. Предлагается использовать данные породы в качестве крупного и мелкого заполнителя при производстве тяжелых бетонов. Показано, что по прочностным характеристикам эти бетоны не уступают традиционным видам на гранитном щебне. Полученные тяжелые бетоны имеют следующие физико-технические показатели: прочность при сжатии 28-32 МПа, средняя плотность 2400-2600 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент водостойкости 0,85-0,87, морозостойкость – 50 циклов. Бетоны обладают повышенной сульфатостойкостью. Вовлечение данных пород в производство позволит решить проблемы создания экологически чистого горнодобывающего предприятия.*

*Ключевые слова: рациональное природопользование, магнийсиликатные породы, тяжелый бетон, отходы горно-добывающих предприятий.*

### Введение

В период интенсивного развития экономики в хозяйственный оборот стремительно вовлекается все большее количество природных ресурсов. Однако степень их рационального природопользования остается крайне низкой. При добыче минерального сырья извлекается большое количество вскрышных и вмещающих пород, которые практически не используют, а складировать в отвалы, ухудшая состояние окружающей среды за счет сокращения количества земель, пригодных для сельскохозяйственного использования, загрязнения почвенного покрова, поверхностных и подземных вод, атмосферы, а следовательно, и условий жизни людей на прилегающих территориях. На долю горных отраслей промышленности приходится 70-80 % объема всех отходов, среди которых магнийсиликатные породы занимают огромное

\* Corresponding author E-mail address: lkhud@binm.bscnet.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

место. В основном эти вскрышные и вмещающие породы образуют отходы горно-добывающих предприятий и формируют экологические небезопасные отвалы. Эта проблема касается ряда регионов Российской Федерации, особенно Северо-Запада, Урала, Восточной Сибири, Якутии и Камчатки.

Наиболее эффективным решением проблемы использования отходов горно-добывающих предприятий является внедрение безотходных технологий. Рассмотрим пути повышения рационального природопользования при освоении месторождений полезных ископаемых на примере Северо-Байкальского рудного района.

На севере Республики Бурятия в Северо-Байкальском районе разведан ряд перспективных месторождений, включая Холоднинское свинцово-цинковое и Байкальское медно-никелевое. Но неразвитость инфраструктуры задерживало их освоение. Строительство БАМа, а в настоящее время планы ИФК «Метрополь» начать освоение Холоднинского месторождения [1, 2] повышают перспективы развития и вовлечения в хозяйственный оборот минерально-сырьевой базы района. Так как эти месторождения расположены в непосредственной близости от внешней границы Байкальской природной территории, при их эксплуатации должны быть применены ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии, предполагающие создание мало- и безотходного производства, предусматривающего комплексное использование минерального сырья с максимальным получением товарной продукции.

В связи с планами крупномасштабного освоения Холоднинского свинцово-цинкового месторождения особый интерес представляют непосредственно примыкающие к нему геологические объекты. Один из них – Йоко-Довыренский массив, располагающийся в 8-12 км от Холоднинского месторождения. Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый массив имеет размеры 3,5х26 км и находится на 56°36' с. ш. и 110° в. д. в 60 км к северу от БАМа [3].

В пределах массива в 1959-1964 и 1989-1994 гг. проводили поисково-разведочное изучение Байкальского медно-никелевого месторождения, в 2001-2002 гг. – поисково-оценочное исследование платинометалльного рудопроявления. «Байкалкварцсамоцветы» оценивали проявление поделочного камня голубого диопсида, обрабатываемого сейчас хищническим способом. В 2006 г. для нужд Холоднинского горно-обогатительного комбината была выдана лицензия на участок габбро для производства строительных материалов. Но это не все виды минерального сырья массива.

Большой интерес вызывает возможность применения магнийсиликатных горных пород (дунитов, перидотитов, троктолитов, оливиновых габбро), которые при разработке месторождений будут находиться в отвалах. Общие запасы данных пород оцениваются во многие миллиарды тонн. Нами изучена возможность их использования для производства новых видов бетонов.

Вопросам применения заполнителей бетонов из отходов горно-рудного производства, в частности магнийсиликатных пород, вместо традиционных видов щебня посвящены работы многих ученых. Так, П.И. Боженов и В.В. Прокофьева доказали возможность использования щебня из оливин-диопсидовых пород в качестве заполнителей тяжелых бетонов [4-6]. В ИХ-ТРЭМС КНЦ РАН проводятся работы по использованию вскрышных пород Сопчезерского месторождения как сырья для получения щебня и жаростойких бетонов [7, 8].

Было интересным получить бетоны на заполнителях из вскрышных и вмещающих пород Йоко-Довыренского массива.

### Материалы и методы исследования

В качестве сырьевых материалов использовали портландцемент марки М400Д0 Тимлюйского цементного завода, гранитный щебень карьера “Горняк”, песок карьера “Речпорт” и магнийсиликатные горные породы Йоко-Довыренского массива, химический состав которых приведен в табл. 1.

По содержанию основных оксидов, верлит и дунит представляют собой ультраосновную породу, а троктолит – основную породу, различающиеся содержанием основных оксидов.

Дуниты Йоко-Довыренского массива имеют высокое качество. Они на 80-97 % состоят из идиоморфных кристаллов оливина и акцессорной хромшпинели двух генераций (1-2 %). Изредка встречаются клинопироксен и плагиоклаз. Сульфиды и слюда (флогопит) присутствуют эпизодически. Верлиты – разновидность перидотита – представляют собой ультраосновную породу, на 80-85 % состоящую из минералов группы оливина. Кроме того, они имеют в своем составе по 5-10 % плагиоклаза и клинопироксена, 1-2 % – алюмохромита. Троктолиты состоят, главным образом, из основного плагиоклаза (лабрадора или битовнита) и оливина. Пироксены присутствуют в незначительном количестве или отсутствуют вовсе.

Для определения минерального состава исследуемых пород был выполнен рентгенофазовый анализ, который показал, что на рентгенограммах дунита, верлита и троктолита имеются линии минералов группы оливина: оливина, форстерита, фаялита. Надо отметить, что на рентгенограмме дунита также присутствуют линии водных силикатов магния: хризотила, парасеполиита, миннесотаита. В спектре верлита отмечены линии диопсида. У троктолита наблюдаются рефлексы анортита, лабрадора, альбита.

Наличие вредных компонентов и примесей в исследуемых породах (согласно ГОСТ 8267-93 “Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия”) не выявлено.

Была проведена радиационно-гигиеническая оценка пород. Значения суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов  $A_{эфф}$  для дунита составляет 85,69 Бк/кг, для верлита – 107,89 Бк/кг, для троктолита – 131,69 Бк/кг. По радиационным показателям образцы не превышают нормируемых значений СанПиН 2.6.1.2523-09 “Нормы радиационной безопасности” (НРБ-99/2009) и согласно ГОСТ 8267-93 могут использоваться для всех видов строительных работ.

Таблица 1. Химический состав магнийсиликатных пород, масс. %

Порода	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ni
Верлит	39,70	1,80	0,42	10,70	0,81	43,83	0,12	0,07	0,165
Дунит	37,40	1,25	3,10	12,60	0,40	40,81	0,14	0,02	0,218
Троктолит	40,60	12,00	1,11	9,45	5,57	28,60	0,57	0,04	0,084
Дунитовый песок	38,40	2,10	2,93	9,95	0,46	43,20	0,05	0,03	0,156

Дуниты представлены не только массивными породами, но и рыхлой корой механического выветривания с хорошо сохранившейся структурой исходных дунитов. Для дунитового песка был выполнен ситовой анализ, который показал, что 68,4 % песка содержат частицы крупнее 0,63 мм. По модулю крупности ( $M_{кр}=2,72$ ) и полному остатку на сите № 0,63 он относится к группе крупных песков. Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц составляет 5 %, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-93 “Песок для строительных работ. Технические условия”. Поэтому требуется дополнительное просеивание песка. Содержание органических примесей в песке согласно ГОСТ 8735-88 “Песок для строительных работ. Методы испытаний” находится в пределах допустимых значений.

Для дунитового песка значение суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов  $A_{эфф}$  составляет 94,45 Бк/кг, что согласно ГОСТ 8736-93 устанавливает возможность его применения в строительстве.

При проведении физико-механических испытаний бетона руководствовались ГОСТ 10180-90 “Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам”, ГОСТ 10060.1-95 “Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости”, ГОСТ 12730-78 “Бетоны. Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости”.

### Результаты и их обсуждение

Была исследована возможность использования магнийсиликатных пород в качестве крупного и мелкого заполнителя для получения тяжелых бетонов при условии правильно подобранных составов бетонных смесей и оптимальных режимов их обработки.

Для изучения влияния щебня из магнийсиликатных пород Йоко-Довыренского массива на технологические свойства бетонных смесей были проведены испытания на трех видах щебня: из дунита, верлита и троктолита. Испытания показали, что щебень этих отвальных пород обладает достаточно высокими физико-механическими показателями. Он имеет следующие марки: по дробимости – 1200 – 1400, по морозостойкости – F150 – F200. Структура щебня устойчива против всех видов распада. Содержание вредных примесей не превышает регламентируемые стандартом значения. Щебень из магнийсиликатных горных пород соответствует по основным показателям требованиям ГОСТ 8267-93 “Щебень и гравий из плотных пород для строительных работ”.

Расход щебня всех видов в составе бетонов оставался равным по массе. В качестве мелкого заполнителя использовали кварцевый песок с модулем крупности  $M_k=2,5$  и дунитовый песок Йоко-Довыренского массива с модулем крупности  $M_k=2,72$ . Подвижность бетонных смесей во всех случаях равнялась 1-4 см при соотношении массы песка к общей массе заполнителей, равном 0,4. Расход цемента при подборе состава бетона был постоянным. В качестве сравнения использовали бетоны на крупном заполнителе в виде гранитного щебня и гравия и мелком заполнителе в виде кварцевого песка.

Изучено влияние вида крупного и мелкого заполнителя на прочность бетонов. Исследования проводили в возрасте 7 и 28 суток нормально-влажностного твердения. Результаты представлены в табл. 2.

Полученные в ходе экспериментов данные показывают, что основной набор прочности происходит в первые 7 суток твердения бетона (более 50 %), далее набор прочности замедля-

Таблица 2. Механические показатели бетонных смесей в зависимости от вида заполнителей

Вид крупного заполнителя	Вид мелкого заполнителя	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте	
		7 суток	28 суток
Дунит	Кварцевый песок	18,3	28,3
	Дунитовый песок	21,9	32,0
Верлит	Кварцевый песок	17,1	28,0
	Дунитовый песок	21,7	31,8
Троктолит	Кварцевый песок	16,9	27,8
	Дунитовый песок	21,7	31,5
Гранитный щебень	Кварцевый песок	16,0	26,7
	Дунитовый песок	17,3	28,4
Гравий	Кварцевый песок	15,8	25,2
	Дунитовый песок	16,9	27,8

ется и достигает максимального значения к 28 суткам твердения в нормально-влажностных условиях.

Вид крупного заполнителя оказывает влияние на прочностные характеристики бетонов. Прочность бетонов на щебне из магнийсиликатных пород выше прочности бетонов на традиционных видах щебня и отличается от прочности бетонов на гранитном щебне на 4,1-6,0 %. Прочность бетонов на щебне из дунита выше, чем из верлита и троктолита. Самые низкие показатели имеют бетоны, где в качестве крупного заполнителя используется гравий.

Мелкий заполнитель также оказывает влияние на прочностные характеристики бетонов. Замена кварцевого песка на дунитовый способствует повышению их прочности.

При определении морозостойкости полученных бетонов ограничились пятьюдесятью циклами замораживания-оттаивания образцов, что соответствует марке по морозостойкости бетонов F50, позволяющей использовать бетоны для промышленного и гражданского строительства. При этом потери прочности образцов по сравнению с контрольными составили 1,86-2,58 %.

Полученные тяжелые бетоны имеют следующие физико-технические показатели: прочность при сжатии 28-32 МПа, средняя плотность 2400-2600 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент водостойкости 0,85-0,87, морозостойкость 50 циклов. Бетоны обладают повышенной сульфатостойкостью.

Проведены предварительные исследования по возможности использования магнийсиликатных пород Йоко-Довыренского массива в дорожном строительстве. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований в данном направлении.

Проведенная работа важна и с точки зрения возможной отработки Авкитского медно-никелевого рудопроявления [9], находящегося на юго-западном фланге Холоднинского месторождения в пределах лицензионного участка. Оруденение приурочено к одноименному массиву, сложенному серпентинитами, хлорит-амфиболовыми породами, дунитами и перидотитами. Размеры тела примерно 1400x400 м. Слабая обнаженность не позволяет в настоящее время провести исследование возможности использования его пород для производства строительных материалов.

## Выводы

На примере Северо-Байкальского рудного района показана возможность использования отвальных пород при производстве новых видов строительных материалов. В результате проведенных исследований получены тяжелые бетоны на крупном и мелком заполнителе из магнийсиликатных горных пород. Показано, что вид заполнителя оказывает влияние на прочностные характеристики бетонов. Бетоны на магнийсиликатных горных породах характеризуются повышенной прочностью по сравнению с обычным бетоном на кварцевом песке и гранитном щебне и представляют практический интерес для использования в отраслях стройиндустрии, в частности, при производстве фундаментных блоков, внутренних стеновых панелей.

Применение магнийсиликатного сырья в производстве строительных материалов позволит снизить себестоимость бетонов за счет использования местных вскрышных и вмещающих пород, к которым относятся магнийсиликатные породы. Это также уменьшит экологическую нагрузку на окружающую среду за счет освобождения территорий, предназначенных под отвалы. При этом при разработке месторождения не исключена возможность создания малоотходного производства, что позволит комплексно и рационально использовать сырье с получением товарной продукции и решить проблемы создания экологически чистого горнодобывающего производства.

*Работа выполняется по программе ОХНМ РАН № 5.5.2 «Получение новых видов материалов с высокими эксплуатационными характеристиками из отходов горно-добывающей промышленности».*

## Список литературы

1. Кислов, Е.В., Плюснин, А.М. Проблемы освоения Холоднинского свинцово-цинкового месторождения (Северное Прибайкалье) // География и природные ресурсы. 2009. № 4. С. 33-39.
2. Михайленко, О.В., Добрынин, А.А. Группа компаний «Метрополь» – бурятские проекты // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 6. С. 57-61.
3. Кислов, Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Издательство БНЦ СО РАН, 1998. 265 с.
4. Прокофьева, В.В. Строительные материалы на базе силикатов магния: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Харьков, 1992. 35 с.
5. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 1994. 268 с.
6. Прокофьева, В.В., Багаутдинов, З.В. Строительные материалы на основе силикатов магния. СПб.: Стройиздат, 2000. 198 с.
7. Голов А.Н., Мироевский Г.П., Гришин, Н.Н., Ракаев, А.И., Крашенинников О.Н. Комплексное использование сырьевых ресурсов Сопчеозерского месторождения хромитов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Петрозаводск: Изд. Кар.НЦ РАН, 2005. С. 41-43.
8. Крашенинников, О.Н., Пак А.А., Сухорукова, Р.Н., Беляева, Т.В., Ракаев А.И., Чепкаленко Н.А. Возможность использования вскрышных пород и отходов обогащения хромовых руд

Сопчезерского месторождения для получения строительного щебня и песка. Апатиты, 2002. 34 с. Деп. в ВИНТИ 12.07.2002. № 1322 – В 2002.

9. Кислов, Е.В. Авкитское медно-никелевое проявление в поле Холоднинского свинцово-цинкового месторождения и его аналоги // Анализ состояния и развития Байкальской природной территории: минерально-сырьевой комплекс: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 20-24 июня 2006 г. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. С. 24-27.

## **The Ways of Rational Nature Using Increasing on Example of North Baikal ore Region**

**Lyudmila I. Khudyakova<sup>a</sup>,  
Oleg V. Voyloshnikov<sup>a</sup> and Evgeniy V. Kislov<sup>b</sup>**

*<sup>a</sup>Baikal Institute of Nature Using SD RAS,  
6, Sahiyanovoy st., Ulan-Ude, 670047 Russia*

*<sup>b</sup>Geological Institute SD RAS,  
6a, Sahiyanovoy st., Ulan-Ude, 670047 Russia*

---

*The ways of rational nature using increasing during deposits development are considered. The possibility of Ioko-Dovyren massif overburden and spoil Mg-Si rocks in building materials production is studied. The using of these rocks as large and small filler at production of heavy concrete is offered. It is shown that such concretes do not yield to traditional type on granite rubble by durability feature. Got heavy concretes have following physics-technical factors: toughness at compression 28-32 MPA, average density 2400-2600 kg/m<sup>3</sup>, water-resistance factor 0.85-0.87, frost-resistance – 50 cycles. The concretes are characterized by increased sulphate-resistance. The involvement of this rocks in production will allow to solve the problems of the ecological clean enterprises mining creation.*

*Keywords: rational nature using, Mg-Si rocks, heavy concrete, spoil of mining enterprise.*

---