

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INVOLVING OVERBURDEN ROCK OF THE KOVDOR COMPLEX ORE DEPOSIT IN CRUSHED STONE PRODUCTION

V.N. Makarov †, V.V Lashchuk, I.S. Kozhina, T.T. Usacheva

Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, KolSC RAS

Overburden rock comprises about a half of the total volume of rock mass of the Zhelezny mine. It is represented by four kinds of rock: olivinites, pyroxenites, iolites, phenites and carbonatites.

Our research focused on the mineral composition and manufacturing properties of these rocks and involved 135 samples in keeping with specifications of All-Union State Standard (AUSS) 8267-93 for crushed stone for construction purposes from hard rock.

The rock mineral contents are found to be extremely unstable and contain zones of weathering. We have studied the relationships between the mineral composition and rock properties, as well as those of crushed stone obtained on their basis.

Physico-mechanical studies have shown their applicability for crushed stone making, with the exception of carbonatite. Iolites, containing over 10 vol.% of nepheline and phenites, containing over 0.5 vol.% of sulphides, do not meet the requirements placed on crushed stone for concrete filling.

We suggest maps schematically describing the quality of Kovdor overburden rocks applicable for motorway crushed stone making in terms of its crushibility and abrasability.

ОЦЕНКА ВСКРЫШНЫХ ПОРОД КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РУД В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ЩЕБНЯ

В.Н. Макаров, В.В. Лашук, И.С. Кожина, Т.Т. Усачева

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева, Кольский научный центр РАН

Ковдорское месторождение комплексных руд является источником магнетитового, апатитового и бадделеитового концентрата. В период максимального развития Ковдорского ГОКа ежесуточная добыча руды достигала 30 тыс.т в сутки. Доля вскрышных пород в горной массе в разные периоды развития карьера различна, но в целом составляет не менее половины. Таким образом, за время работы комбината накоплены многие миллионы тонн вскрышных пород.

Вскрышные породы рудных месторождений отличаются от традиционного сырья стройиндустрии изменчивостью минерального состава, структуры и физико-механических свойств, что вызывает необходимость их специальных исследований.

Настоящая работа посвящена установлению специфических особенностей попутно добываемого минерального сырья и возможности его использования для производства строительного щебня с целью снижения техногенной нагрузки отвалов вскрышных пород на окружающую среду.

Объектом исследований послужили вскрышные породы рудника «Железный», представленные четырьмя основными видами (Каледонский комплекс..., 1965; Геология ..., 2002): пироксенитами, ийолитами, фенитами и карбонатитами, а также целым рядом переходных разновидностей. Первые два вида пород представляют собою магматические образования, в той или иной степени, претерпевшие вторичные изменения; фениты и фенитизированные гнейсы – породы экзоконтакта; карбонатиты – более поздние жильные образования.

В бортах карьера было отобрано 135 проб (таблица 1). Для этих проб исследовался минеральный состав, физико-механические свойства, определялись технологические показатели щебня, полученного из вскрышных горных пород (Макаров и др., 2004). Полученные данные дополнялись результатами геолого-разведочных работ (Мультимедийный справочник..., 2001).

Исследования минерального состава показали, что главными порообразующими минералами вскрышных пород являются карбонаты, пироксены и полевые шпаты, а второстепенными – все остальные минералы. Карбонатиты содержат карбонаты: кальцит, меньше - доломит. Для пироксенитов характерны пироксены и полевые шпаты, которые в ийолитах и фенитах дополняются нефелином.

Содержания минералов во вскрышных породах изменчиво, за исключением содержания карбонатов в карбонатитах, пироксенов в пироксенитах и фенитах, полевых шпатов в ийолитах. Об этом свидетельствуют коэффициенты вариации средних содержаний этих минералов, которые не превышают значение 0.33. Распределения величин минерального состава, как правило, отличное от нормального закона по критерию t-Стьюдента. Исключение составляют распределения величин содержания апатита в фенитах и флогопита в карбонатитах.

Таблица 1

Минеральный состав вскрышных пород рудника «Железный», об. %

Порода (число проб)	Статист.* параметр	Карбо- наты	Пиро- ксены	Полевые шпаты	Апа- тит	Нефелин	Флого- пит	Магне- тит
Пироксенит (54)	Хср	2.6	76.4**	9.9	0.6	2.3	5.3	2.9
	Хср±ε	1.3-3.8	71.6-81.2	5.9-14.0	0.0-1.5	0.0-4.7	3.5-7.0	1.2-4.7
	Квар	1.02	0.13	0.82	2.30	2.06	0.67	1.23
Фениты и фенитиз. гнейсы (17)	Хср	4.5	48.7	29.7	1.1***	12.7	2.8	0.5
	Хср±ε	3.3-5.7	44.5-52.8	25.2-34.3	0.6-1.7	8.1-17.4	1.8-3.9	0.0-0.9
	Квар	0.64	0.20	0.36	1.06	0.87	0.85	1.25
Карбонатиты (36)	Хср	79.4	9.0	нет	7.6	1.1	1.5***	1.4
	Хср±ε	76.8-82.6	5.5-12.5		3.9-11.3	0.2-2.1	0.9-2.0	0.7-2.1
	Квар	0.08	0.78		0.98	1.72	0.79	1.02
Ийолит (28)	Хср	1.9	43.2	19.1	1.2	32.7	1.8	0.1
	Хср±ε	1.5-2.6	34.8-51.6	13.7-24.6	0.6-1.7	29.5-35.9	1.0-2.5	0.0-0.2
	Квар	0.66	0.55	0.32	1.13	0.63	1.05	1.14
ВСЕГО (135)	Хср	42.4	32.1	13.7	4.3	3.2	2.9	1.4
	Хср±ε	37.1-47.8	37.1-47.8	10.9-16.4	3.4-5.2	2.6-3.4	2.5-3.2	1.1-1.7
	Квар	0.90	0.90	0.89	1.44	1.34	0.95	1.56

Примечание – * Хср - среднее, (Хср±ε) - доверительный интервал значений при Р=0.95, Квар - коэффициент вариации; ** - жирным шрифтом выделены средние значения, которые превышают 10.0 об.%; *** - закон распределения нормальный по критерию t-Стьюдента.

Сравнение наших данных с результатами петрографических исследований (Каледонский комплекс..., 1965) показало, что они близки, за исключением более низкого среднего содержания пироксенов и более высокого – полевых шпатов в ийолитах. Это, возможно, обусловлено некоторым изменением состава пород при приближении к рудному телу.

Исследования физико-механических свойств вскрышных пород по стандартным методикам ГОСТ 30629-99 показали, что по плотности выделяются три группы пород: пироксениты, фениты, карбонатиты и ийолиты. Пироксениты и фениты неоднородны по составу, о чем свидетельствует коэффициент вариации показателя средней плотности, превышающий значение 0,04. Это, возможно, связано с амфиболизацией пироксенитов и фенитизацией гнейсов, у которых установлено увеличение пористости, превышающее значение 1%. По прочности выделяются следующие группы пород: высокопрочные – фениты и ийолиты, прочные – пироксениты и мало прочные – карбонатиты.

Учитывая широкие пределы изменения минерального состава и свойств сырья, для оценки степени его неоднородности, были проведены в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 определения основных характеристик самого щебня из разных типов вскрышных пород (таблица 2).

Таблица 2

Физико-механические и технологические свойства щебня, полученного из вскрышных пород рудника «Железный»

Фракция	Пироксениты	Ийолиты	Фениты	Карбонатиты
Выход песков отсева после дробления, %				
< 5 мм	12.3-15.7*	8.8-10.7	8.7-11.3	15.6-22.6
Насыпная масса, кг/м ³				
10-20 мм*	1340-1380	1290-1360	1230-1290	1220-1290
МАРКА ЩЕБНЯ ПО ДРОБИМОСТИ				
10-20 мм	800-1200	1000-1400	1000-1400	400-800
МАРКА ЩЕБНЯ ПО ИСТИРАЕМОСТИ				
5-40 мм	И2 – И3	И1	И1	И3 – И4
Содержание зерен слабых пород, %				
10-20 мм	5.5-7.8	0.5-3.5	1.0-6.1	1.5-6.5
Содержание зерен лещадной формы, % (группа щебня)				
10-20 мм	3.9-12.1 (1)	3.0-8.0 (1)	5.0-9.0 (1)	4.5-8.0 (1)
МАРКА ЩЕБНЯ ПО МОРОЗОСТОЙКОСТИ				
5-40 мм	> F300	> F300	> F300	F100 - F300

Примечание - * доверительные интервалы среднего значения при n=135 и Р=0.95.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что большая часть вскрышных пород по своим физико-механическим свойствам пригодна для производства щебня марок 600-1400.

Исследования взаимозависимостей технологических свойств щебня от минерального состава при помощи корреляционного анализа показали, что по силе взаимосвязи в системе выделяются три группы параметров.

Истираемость и содержание карбонатов составляют первую группу параметров (суммы коэффициентов корреляции r : 5.09 и 5.07). В ней истираемость щебня тесно взаимосвязана с содержанием полевых шпатов ($r=-0.82$), хорошо – с содержанием карбонатов ($r=0.64$) и нефелина ($r=-0.60$) и удовлетворительно ($r=0.25-0.50$) – с содержанием апатита, магнетита и пироксенов.

Дробимость и содержания пироксенов, нефелина и апатита составляют вторую группу параметров (суммы r : 4.25, 3.92, 3.82 и 3.41). Дробимость хорошо взаимосвязана с содержанием полевых шпатов ($r=-0.63$) и карбонатов ($r=0.56$) и удовлетворительно – с содержанием нефелина и апатита, магнетита и пироксенов.

Насыпная масса и содержания магнетита и флогопита составляют третью группу параметров (суммы r : 1.91, 2.74 и 2.67). Насыпная масса удовлетворительно взаимосвязана с содержанием пироксенов ($r=0.44$), кальцита ($r=-0.29$) и флогопита ($r=0.26$).

Зависимости технологических показателей истираемости, дробимости и насыпной массы щебня от минерального состава исследовались при помощи регрессионного анализа.

Зависимость потери массы щебня при истирании в полочном барабане от минерального состава аппроксимируется уравнением:

$$Y = 5.2 + 0.70 a + 0.80 b + 0.43 c + 0.11 d, \quad (1)$$

Где: Y - потеря массы щебня при истирании в полочном барабане, мас. %;

a - суммарное содержание флогопита и биотита, мас. %;

b - суммарное содержание апатита и магнетита, мас. %;

c - содержание карбонатов, мас. %;

d - суммарное содержание силикатов, за исключением слюд, мас. %;

Коэффициент множественной корреляции $R=0.75$.

Примесь 20% карбоната увеличивает потери массы щебня при истираемости на 6.4 %, такая же примесь слюд – на 11.8%, максимально возможная (15%) примесь апатита и магнетита – на 10.3%. Иными словами, максимальная примесь каждого из указанных выше компонентов снижает истираемость щебня приблизительно на одну марку.

Зависимость потери массы щебня при раздавливании в цилиндре (дробимость) от минерального состава аппроксимируется следующим уравнением:

$$Y = 12.4 + 0.16 a + 0.27 b + 0.25 c - 0.006 d, \quad (2)$$

Где: Y – потеря массы щебня при раздавливании в цилиндре, мас. %;

a - суммарное содержание флогопита и биотита, мас. %;

b - суммарное содержание апатита и магнетита, мас. %;

c - содержание карбонатов, мас. %;

d - суммарное содержание силикатов, за исключением слюд, мас. %;

Коэффициент множественной корреляции $R=0.70$.

Из данного уравнения следует, что содержание слюды в 20% увеличивает Y на 3.2%, а такое же содержание карбоната – на 5.0%. Это эквивалентно снижению дробимости щебня с марки 1400 до 1200 в первом случае и до 1000 – во втором. При совместном присутствии этих двух минералов в указанных количествах марка щебня будет не выше 800. Следовательно, нельзя допускать повышения содержаний этих минералов выше 20%.

Насыпная плотность зависит от содержания пироксенов, нефелина, флогопита, кальцита и магнетита. Эмпирическая регрессионная модель зависимости насыпной плотности от минерального состава имеет следующий вид:

$$НП = 1.267 + 0.002 P_y - 0.002 Ne - 0.128 Ap - 0.00011 Ca + 0.001 Mt + 0.004 Fl, \quad (3)$$

Где: НП – насыпная плотность, т/м³;

a, b, c, d, e, f – содержание соответственно пироксенов, нефелина, апатита, кальцита, магнетита, флогопита, мас. %;

Коэффициент множественной корреляции $r=0.78$ при $F=12.46$.

Как видно, величина насыпной плотности зависит преимущественно от структурно-текстурных особенностей породы и формы зерен, образующихся при дроблении.

По прочности и истираемости, в конечном счете, определяющими качество и стоимость конечного продукта, породы оказываются неодинаковыми. Как показало опробование бортов рудника «Железный», большая часть фенитизированных гнейсов и фенитов и значительная часть ийолитов обеспечивают получение щебня для дорожного строительства высшего качества (марки 1200-1400 по дробимости и марки И1 по истираемости). Щебень из пироксенитов заметно уступает по качеству (марки 800-1000 по дробимости и И2-И3 по истираемости). Основной причиной резкого снижения качества сырья является развитая карбонатизация, как в пироксенитах, так и в ийолитах.

Пироксениты, нефелиновые пироксениты, флогопитовые пироксениты с содержанием флогопита менее 20% обеспечивают получение щебня марки не ниже 800, что позволяет использовать его в бетонах марки 300-400. Примесь к пироксенитам до 20% ийолитов, если она равномерно распределена в объеме готовой продукции, не ухудшает ее качество.

Большая часть фенитов обеспечивает получение высококачественного щебня. Однако в этих породах иногда наблюдается наложенная минерализация, в том числе сульфидная. Содержание сульфидов в отдельных блоках может превышать критические значения. Такие породы не пригодны в качестве сырья для производства щебня, используемого при производстве бетонов.

Карбонатиты и частично ийолиты не удовлетворяют требованиям к качеству щебня по количеству зерен слабых пород и лещадной формы.

Таким образом, установлено, что для производства щебня, используемого в качестве балласта при строительстве дорог, пригодны практически все вскрышные породы, за исключением карбонатитов. Практически по всем параметрам щебень из этих пород удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267 - 93.

Литература

Мультимедийный справочник по минерально-сырьевым ресурсам и горнопромышленному комплексу Мурманской области: Цифровой информационный ресурс / Сост. Б.В. Афанасьев и др. – Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2001, Ч.2: Горнопромышленный комплекс – 680 мб.

Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / Ред. А.А. Кухаренко – М.: Недра, 1965. – 772 с.

Макаров В.Н., Усачева Т.Т., Кожина И.С. Вскрышные породы Ковдорского месторождения комплексных руд как сырье для производства строительного щебня. – Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2004 – 43 с. (Рук. деп. в ВИНТИ, № 1246-B2004).

Геология рудных районов Мурманской области / В.И.Пожиленко, Б.В.Гавриленко, Д.В. Жиров, С.В.Жабин. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. – 359 с.

GEOECOLOGICAL RESEARCH CONDUCTED AT THE INSTITUTE OF CHEMISTRY, KOLA SCIENCE CENTRE RAS UNDER THE DIRECTION OF PROFESSOR V. MAKAROV

D.V. Makarov, O.V. Suvorova

Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kola SC RAS

Geoecological research is conducted at the Institute of Chemistry, KSC RAS, in the following directions: investigation of physico-chemical processes occurring in mining wastes; supergenesis effect on technological properties of man-made resources and environment; analysis of the state and possibility of recovery of man-made deposits to enhance the level of resource utilization; creation of technologies for mining waste processing to building and technical materials; development of a scientific basis for creating geochemical barriers for effluent and natural water purification and precipitation of dissolved non-ferrous metals.