

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ОТ ДОБЫЧИ ПОЛЕВОШПАТОВЫХ РУД И ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ИЗ ХВОСТОВ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Р.М. Ахмедьянов¹, lab@2170812.ru
Е.А. Гамалий¹, eagamaliy@mail.ru
П.В. Кочмарчик², kochmarchik87@mail.ru
А.С. Котельников², a.kotelnikov@gok74.ru

¹ ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов», Челябинск, Россия

² АО «Вишневогорский горно-обогатительный комбинат», п. Вишневогорск, Челябинская область, Россия

Аннотация. Данное исследование посвящено определению возможности использования побочного продукта из хвостов обогащения полевошпатовых руд и вскрышных пород от их добычи, принадлежащих АО «Вишневогорский ГОК», в некоторых сферах производственной деятельности. В частности, рассмотрены способы применения побочного продукта в качестве добавки для производства строительной керамики, сырьевого компонента для производства глинозема и содопоташной смеси, материала для рекультивации нарушенных земель. Продукты дробления крупнодисперсных вскрышных пород были исследованы на соответствие требованиям нормативной документации, регламентирующей производство тяжелых бетонов, для определения возможности их применения в качестве щебня. В ходе исследований применяли стандартизированные и специальные методы исследования физико-химических и физико-механических характеристик материалов. Результаты данного исследования могут быть полезны для повышения экономической эффективности горнодобывающих предприятий и стимулирования процесса улучшения экологической обстановки в регионе.

Ключевые слова: добыча полевошпатовых руд, побочный продукт обогащения, вскрышные породы, керамика, глинозем, содопоташная смесь, щебень, рекультивация нарушенных земель

Для цитирования. Эффективные способы применения вскрышных пород от добычи полевошпатовых руд и побочного продукта из хвостов их обогащения в различных сферах производственной деятельности / Р.М. Ахмедьянов, Е.А. Гамалий, П.В. Кочмарчик, А.С. Котельников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 3. С. 49–59. DOI: 10.14529/build240305

Original article
DOI: 10.14529/build240305

METHODS OF USING OVERBURDEN AND A TREATMENT BY-PRODUCT OF FELDSPAR MINING IN PRODUCTION

R.M. Akhmedyanov¹, lab@2170812.ru
E.A. Gamaliy¹, eagamaliy@mail.ru
P.V. Kochmarchik², kochmarchik87@mail.ru
A.S. Kotelnikov², a.kotelnikov@gok74.ru

¹ UralNIIstrom LLC, Chelyabinsk, Russia

² Vishnevogorsk Mining and Processing Plant JSC, Vishnevogorsk settlement, Chelyabinsk region, Russia

Abstract. This study determines the possibility of using a by-product from the treatment of feldspar ores and overburden from their mining in some areas of production at JSC Vishnevogorsk. In particular, it considers methods for using the by-product as an additive for the production of building ceramics, a raw material for the production of alumina and soda-potash, and material for the reclamation of disturbed lands. The products of crushing coarse overburden rocks were examined for compliance with the regulatory requirements for the production of heavy concrete to determine

the possibility of their use as coarse aggregates. During the research, standardized and special methods were used to study the physical-chemical and physical-mechanical characteristics of such materials. The results of this study may be useful for increasing the economic efficiency of mining enterprises and improving the environmental situation in the region.

Keywords: mining of feldspar ores, by-product, overburden rocks, ceramics, alumina, soda-potash mixture, coarse aggregates, reclamation of disturbed lands

For citation. Akhmedyanov R.M., Gamaliy E.A., Kochmarchik P.V., Kotelnikov A.S. Methods of using overburden and a treatment by-product of feldspar mining in production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2024;24(3):49–59. (in Russ.). DOI: 10.14529/build240305

Введение

АО «Вишневогорский ГОК» является крупнейшим производителем и поставщиком полевого шпата (полевошпатового концентрата) на территории Российской Федерации, продукция комбината поставляется также в страны ближнего и дальнего зарубежья. Полевые шпаты, производимые комбинатом, отличаются высоким содержанием оксидов алюминия и щелочных металлов при низком содержании оксидов железа и кремния. Основными потребителями данного типа продукции являются предприятия электровакуумной, керамической, электродной и стекольной промышленности. На данный момент основным товарным продуктом АО «Вишневогорский ГОК» является нефелин-полевошпатовый концентрат четырех сортов (марок), отличающихся содержанием оксида трехвалентного железа и гранулометрическим составом (в соответствии ТУ).

Технологический процесс получения нефелин-полевошпатового концентрата включает в себя операции по добыче и предварительному измельчению полевошпатовой руды, флотацию и мокрую магнитную сепарацию. В процессе производства также образуются пульпа из воды и хвостов обогащения с содержанием полиминерально-

го твердого вещества 4–6 % по массе и крупнодисперсные дробленые вскрышные породы. Складирование пульпы производится в выработанном пространстве карьера недалеко от п. Вишневогорск, а крупнодисперсные вскрышные породы накапливаются в отвалах (рис. 1). В настоящее время на предприятии планируется внедрение новой технологии для обезвоживания пульпы и получения побочного продукта из хвостов обогащения в виде минерального вещества с влажностью 15–17 %, которое будет храниться на открытом складе-хранилище. С точки зрения улучшения экологической обстановки территории, на которой базируется предприятие, предпочтительной является перспектива полной реализации данного побочного продукта, а также крупнодисперсных вскрышных пород в качестве минерального сырья для промышленных предприятий, в первую очередь, строительной индустрии.

Предварительные исследования химического, минералогического и зернового состава вскрышных пород и побочного продукта (хвостов обогащения) показали, что:

– вскрышные породы представлены преимущественно смесью фракций 0...2000 мм, включающей полевые шпаты, слюду и нефелин.



а)



б)

Рис. 1. Места складирования отходов добычи и обогащения полевошпатовых руд:
а) складирование пульпы, б) отвалы вскрышных пород

Из вскрышных пород возможно дробление щебня различных фракций;

– побочный продукт имеет размеры зерен менее 1,25 мм, также содержит в своем составе минералы полевых шпатов, слюду, нефелин. Поскольку в процессе обогащения полевошпатовых руд применяется магнитная сепарация, в составе побочного продукта отмечается также повышенное содержание железистых соединений (Fe_2O_3 до 20 %, TiO_2 до 2 %).

На основе предварительного литературного обзора было выдвинуто предположение, что в качестве возможных областей применения побочного продукта АО «Вишневогорский ГОК» может быть рассмотрено производство таких материалов, как:

– керамический кирпич (в качестве добавки, снижающей температуру спекания шихты и снижающей усадку изделий) [1–5];

– глинозем и содопоташная смесь (в качестве основного сырьевого компонента) [6–10].

Также вызывает интерес возможность применения побочного продукта из хвостов обогащения в качестве материала для рекультивации нарушенных земель. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление утраченного качественного состояния земель, достаточного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием.

Крупнодисперсные вскрышные породы могут быть подвергнуты расसेву и/или дополнительному дроблению. При соответствии такого продукта требованиям ГОСТ 8269.0-97 и ГОСТ 26633-2015 он может быть использован в качестве щебня для строительных работ, в том числе для производства тяжелых бетонов. На данный момент АО «Вишневогорский ГОК» производит для собственных нужд щебень фракций 5...20 мм и фракции 20...40 мм.

Целью данной научно-исследовательской работы являлось определение рациональных способов применения отходов и побочного продукта

добычи и обогащения полевошпатовых руд в строительной индустрии.

Для реализации поставленной цели были решены задачи, включающие:

– исследование физико-механических и физико-химических характеристик дробленых вскрышных пород и твердого вещества пульпы;

– исследование возможности применения твердого вещества пульпы в качестве добавки-флюса и добавки-отощителя при производстве керамического кирпича;

– исследование возможности применения твердого вещества пульпы в качестве сырья для получения глинозема и содопоташной смеси;

– исследование возможности применения дробленых вскрышных пород в качестве щебня для строительных работ, в том числе для получения тяжелых бетонов;

– исследование возможности использования побочного продукта из хвостов обогащения для рекультивации нарушенных земель.

Материалы и методы исследования

Для экспериментальной проверки возможности использования побочного продукта в производстве керамики использовали глину месторождения Миасское II (Челябинская обл.), применяемую при производстве керамики.

Стандартные методы испытаний, применяемые при проведении исследований, приведены в табл. 1.

Для определения фазового состава побочного продукта применяли метод качественного рентгенофазового анализа (далее – РФА). В рамках настоящих исследований РФА проводили методом порошков на дифрактометре D8 ADVANCE Bruker при $CuK\alpha$ излучении с Ni-фильтром, диапазон съемки углов 2θ от 10...80°, шаг 0,05°, скорость сканирования 2 с/шаг. Расшифровку рентгенограмм и идентификацию фаз исследуемых материалов проводили с помощью программного пакета Diffraс Plus, базы данных PDF-2 (2016) и литературных источников [11–14].

Таблица 1

Методы испытаний, применяемые в ходе исследования

Объект испытаний	Методы испытаний	Характеристики
1	2	3
Побочный продукт из хвостов обогащения	ГОСТ 8735	Зерновой состав и модуль крупности; глина в комках; пылевидные и глинистые частицы; наличие органических примесей; минералого-петрографический состав; истинная плотность; насыпная плотность; пустотность; реакционная способность (химическим методом)
	ГОСТ 8269.1	Массовая доля CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , Na_2O , K_2O ; потери при прокаливании
	ГОСТ 5382	Массовая доля хлорид-иона; массовая доля оксида серы SO_3
	ГОСТ Р 56593	Степень пуццоланической активности

1	2	3
Вскрышные породы (щебень из вскрышных пород)	ГОСТ 8269.0-97	Определение зернового состава; содержание пылевидных и глинистых частиц; содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм; дробимость; содержание зерен слабых пород в щебне (гравии); определение средней плотности; определение водопоглощения; потеря массы после испытаний на морозостойкость
	ГОСТ 8269.1-97	Массовая доля хлоридов
Керамические материалы с применением побочного продукта	ГОСТ 2409	Кажущаяся плотность и водопоглощение керамических материалов
	ГОСТ 21216	Воздушная усадка глинистого сырья; формовочная влажность глинистого сырья; огневая усадка; предел прочности при сжатии; предел прочности на растяжение при изгибе

Исследовательская часть

Результаты определения зернового состава побочного продукта согласно ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» приведены в табл. 2. Химический состав побочного продукта приведен в табл. 3.

Результаты рентгенофазового анализа побочного продукта показали, что состав кристаллических фаз представлен следующими минералами: нефелин, полевые шпаты (микроклин, ортоклаз, альбит), кварц, биотит, кальцит, железистые минералы (магнетит, пирротин) и другие (рис. 2, табл. 4).

Таким образом, побочный продукт представляет собой мелкий полиминеральный порошок, который по крупности можно отнести к очень тонкому песку.

Керамический кирпич

Исходя из установленных химического, фазового и зернового составов, можно сделать вывод, что побочный продукт представляет интерес для керамической промышленности как в качестве добавки, снижающей температуру обжига (флюсующей), так и в качестве добавки-отощителя для улучшения сушильных свойств и снижения воздушной и огневой усадки при производстве грубой

Таблица 2

Результаты определения зернового состава побочного продукта

№ п/п	Сито с размером ячейки, мм	Ед. изм.	Остаток	
			Частный	Полный
1	10	%	0	–
2	5	%	0	–
3	2,5	%	0	–
4	1,25	%	0,08	0,08
5	0,63	%	0,12	0,20
6	0,315	%	8,72	8,92
7	0,16	%	44,71	53,63
10	Менее 0,16*	%	46,37	100,00

* – проход через сито с ячейкой 0,16 мм (остаток на поддоне).

Таблица 3

Химический состав побочного продукта из хвостов обогащения

№ п/п	Определяемый показатель	Ед. изм.	Значение
1	Массовая доля CaO	%	11,45
2	Массовая доля Al ₂ O ₃	%	17,30
3	Массовая доля SiO ₂	%	41,98
4	Массовая доля Na ₂ O	%	7,96
5	Массовая доля K ₂ O	%	5,72
6	Массовая доля TiO ₂	%	1,33
7	Массовая доля MgO	%	0,28
8	Массовая доля Fe ₂ O ₃	%	9,25
9	Потери при прокаливании (ППП) при 1000 °С	%	4,48
10	Иные элементы	%	4,73

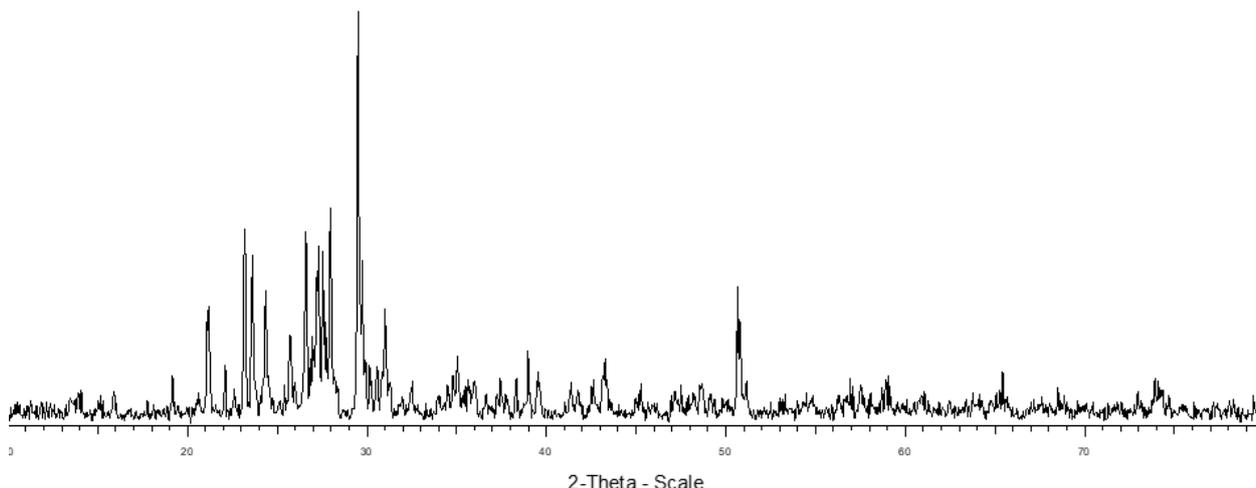


Рис. 2. Диффрактограмма твердого вещества побочного продукта

Фазовый состав побочного продукта

Таблица 4

Минерал	Межплоскостные расстояния для фракции, Å
Нефелин	3,84; 3,28; 3,00; 2,35; 1,60
Микроклин	4,21; 3,77; 3,36; 3,28; 3,23; 1,79
Ортоклаз	4,04; 3,31; 3,19; 2,38; 1,45; 1,42
Альбит	3,77; 3,66; 3,23; 2,93; 1,85; 1,78; 1,66; 1,28
Андалузит	4,64; 2,93; 2,28; 2,18
Кварц	4,21; 3,36; 1,80; 1,59
Натролит	6,57; 5,89; 2,88
Бiotит (гидробiotит)	2,55; 2,00; 1,69; 1,56
Кальцит	3,03; 2,09; 1,92; 1,87; 1,34
Магнетит	2,56; 2,09; 1,61; 1,48
Пирротин	2,97; 2,09; 1,72

керамики [5–7, 14]. Однако полиминеральный состав и высокое содержание биотита может снизить эффективность побочного продукта как добавки-флюса, в связи с чем требуется экспериментальная проверка влияния добавки побочного продукта на свойства керамической массы и керамики, получаемой из конкретного вида глинистого сырья.

Проведенные исследования показали, что влияние побочного продукта на формовочную влажность и воздушную усадку глинистого сырья сравнимо с влиянием песка в тех же дозировках. Вместе с тем введение побочного продукта позволяет более эффективно уменьшить огневую усадку при обжиге грубой керамики по сравнению с применением песка в тех же дозировках: при добавлении 20 % побочного продукта и температуре обжига 950 °C огневая усадка снижается на 61,9 % по сравнению с чистым глинистым сырьем, тогда как при добавлении 20 % песка при тех же условиях – всего на 52,3 %. Введение добавок и песка, и побочного продукта снижает прочностные показатели глинистого сырья как после сушки, так и после обжига при разных температурах (рис. 3, 4).

Это свидетельствует об одинаковом механизме действия данных добавок, отошающих глини-

стое сырье и не образующих расплава или легкоплавких эвтектик при данных температурах обжига. При этом введение 20 % побочного продукта вызывает меньшее снижение прочности грубой керамики на сжатие и на растяжение при изгибе, чем введение 20 % песка, что свидетельствует о его большей эффективности в качестве добавки-отошителя при данной дозировке.

Также в ходе исследований было установлено, что применение побочного продукта не позволяет повысить кажущуюся плотность керамики и снизить водопоглощение, что подтверждает отсутствие влияния данных добавок на степень спекания глинистого сырья.

Глинозем и содопotaшная смесь

Одним из известных способов применения нефелин-содержащих горных пород является комплексная переработка для получения глинозёма, содопotaшной смеси и сырья для производства портландцемента. Это делает переработку нефелин-содержащего сырья экономически целесообразной, несмотря на низкое содержание в нём глинозёма [7–10]. Для комплексной переработки нефелин-содержащего сырья применяют способ спекания, который включает: производство глино-

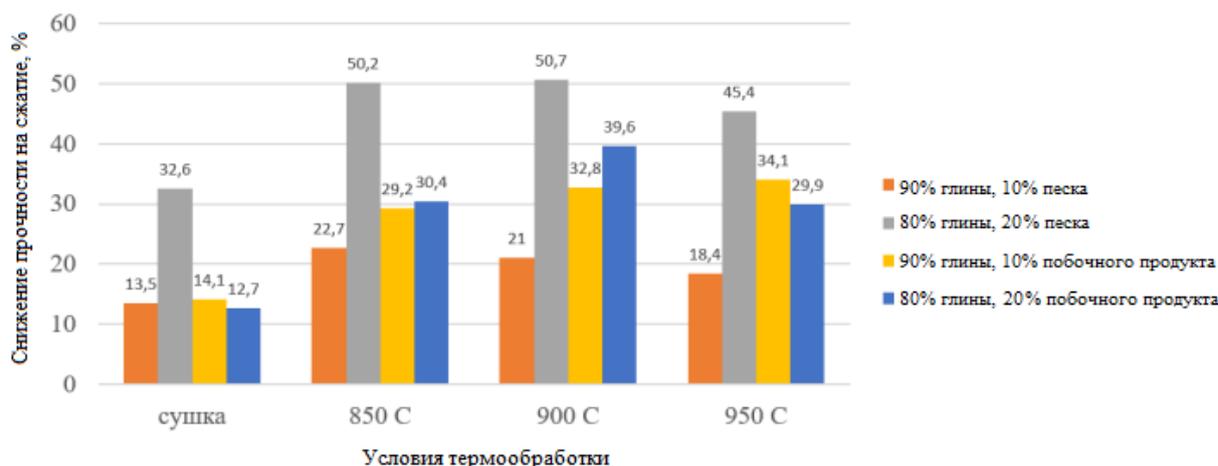


Рис. 3. Влияние добавок побочного продукта и кварцевого песка в разных дозировках на снижение прочности грубой керамики на сжатие относительно прочности глинистого сырья без добавок

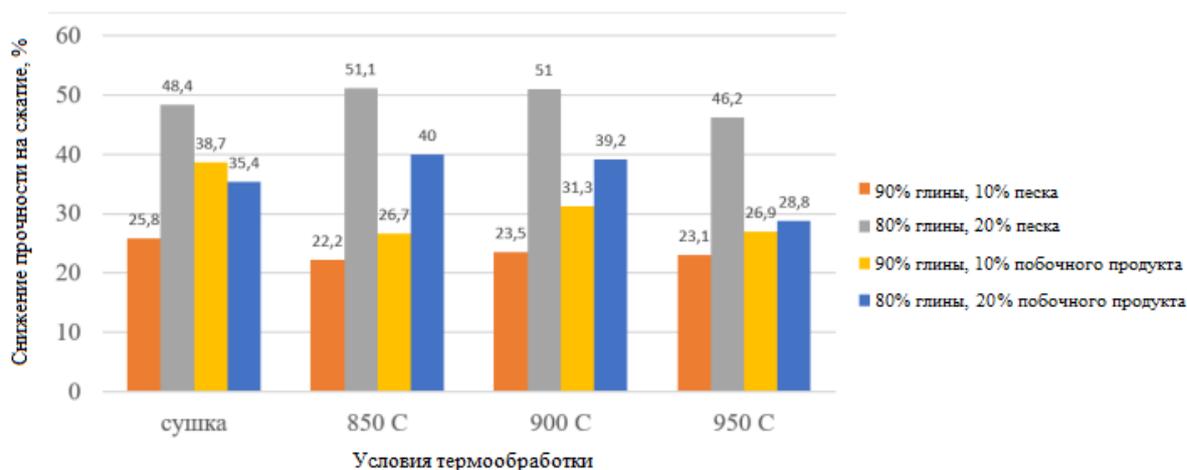


Рис. 4. Влияние добавок побочного продукта и кварцевого песка в разных дозировках на снижение прочности грубой керамики на растяжение при изгибе относительно прочности глинистого сырья без добавок

зёма с получением в качестве побочных продуктов содопоташного раствора и нефелинового шлама; производство соды и поташа из содопоташного раствора; производство цемента из нефелинового шлама.

Поступающая на спекание шихта должна отвечать следующим примерным требованиям: влажность шихты – 28–30 %, содержание фракций свыше 0,08 мм – 3–4 %, щелочной модуль шихты – 1, кальциевый модуль шихты – 2.

Щелочной модуль нефелино-известняковой шихты находят как молярное отношение полуторных оксидов ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) к Al_2O_3 , а кальциевый модуль – как молярное отношение CaO к SiO_2 в шихте. Такое соотношение между основными компонентами шихты обеспечивает связывание Al_2O_3 при спекании в алюминаты натрия и калия, а кремнезёма – в двухкальциевый силикат [7, 8]. В побочном продукте, по данным химического анализа, щелочной модуль составил 0,769, а кальциевый – 0,244, то есть для получения требуемой шихты в побочном продукте не хватает оксидов натрия или калия, а также оксида кальция.

Для определения возможности применения побочного продукта в качестве сырья для получения глинозема и содопоташной смеси был проведен следующий эксперимент. Побочный продукт измельчали на вибрационном истирателе до полного прохода через сито с ячейкой 0,08 мм. В качестве известнякового компонента шихты использовали мел марки МТД-2 по ТУ 743-001-54653514-05 (ООО «Разумное-ТРАСТ», с. Севрюково Белгородской обл.), в качестве натриевого компонента – пищевую соду. Смесь побочного продукта, мела и соды перемешивали в пропорции, обеспечивающей требуемые значения кальциевого и щелочного модулей. Содержание побочного продукта в шихте составило 38 %, мела – 58,5 %, соды – 3,5 %. Щелочной модуль шихты составил 0,996, а кальциевый – 1,998. Химический состав шихты приведен в табл. 5.

Шихту тщательно перемешали, засыпали в корундовый тигель, после чего обожгли в муфельной печи при температуре 1300 °С, потери при прокаливании составили 26,54 %. Спек (рис. 5) раздробили и провели выщелачивание в водном растворе едкого натра.

Таблица 5

Химический состав шихты

Содержание в шихте, % по массе									
CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CO ₂	SO ₃
34,31	0,40	6,88	17,16	4,71	2,14	0,63	3,66	26,55	0,03



Рис. 5. Спек

Полученный алюмощелочной раствор содержал оксиды алюминия, кремния, калия и натрия, при этом содержание щелочных оксидов в алюмощелочном растворе было больше, чем в растворе для выщелачивания.

Таким образом, в лабораторных условиях была выявлена принципиальная возможность получения содопоташной смеси и глинозёма из шихты с применением 38 % побочного продукта.

Щебень для производства бетона

Для определения возможности использования дробленых вскрышных пород от добычи полевошпатовых руд было проведено исследование их физико-механических характеристик, а также выполнена оценка их соответствия требованиям, предъявляемым к крупному заполнителю по ГОСТ

26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» (табл. 6).

Таким образом, можно сделать вывод, что щебень из смеси фракций от 5 до 20 мм не пригоден для производства тяжелых бетонов. Щебень фракции свыше 20 до 40 мм может быть использован для производства бетонов классов по прочности при сжатии до В60 для зданий и сооружений, возводимых на территории климатических подрайонов со среднемесячной температурой наиболее холодного месяца 0...–10 °С – IVA, IVB и IVB по СП 131.13330.2018.

Рекультивация нарушенных земель

Исследование состава побочного продукта из хвостов обогащения с учетом их происхождения показало, что основными компонентами побоч-

Таблица 6

Сравнение фактических показателей исследуемых характеристик с нормативными показателями

Нормируемая характеристика	Нормативный показатель	Фактический показатель для	
		смеси фракций от 5 до 20 мм	щебня фракции от 20 до 40 мм
1	2	3	4
Средняя плотность	2000...3000 кг/м ³	2590 кг/м ³	2610 кг/м ³
Содержание фракций в смеси двух смежных фракций (для щебня из смеси фракций)	От 5 до 10 мм – 25...40 % От 10 до 20 мм – 60...75 %	От 5 до 10 мм – 19,96 % От 10 до 20 мм – 77,98 %	–
Марка по дробимости для бетонов В60 и выше	Не ниже 1200	1200	1000
Содержание зерен слабых пород для бетонов В60 и выше	Не более 5 % по массе	4,72 %	0 %
Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород для бетонов В25 и выше	Не более 1 % по массе	0,9 %	0,6 %

1	2	3	4
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы	Не более 35 % по массе	28,46 %	20,75 %
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы для бетонов В60 и выше	Не более 15 % по массе		
Водопоглощение щебня из изверженных и метаморфических пород для бетонов F ₁₂₀₀ (F ₂₁₀₀) и выше	Не более 1 %	1,65 %	0,82 %
Марка по морозостойкости крупного заполнителя в зависимости от температуры эксплуатации конструкций и изделий, кроме покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов, заглубленных конструкций бетонных подготовок и фундаментов, гидротехнических сооружений	Не менее F100 при температурах 0...–10 °С; Не менее F200 при температурах –10...–20 °С; Не менее F300 при температурах ниже –20 °С;	F150	F150

Таблица 7

Оценка соответствия показателей побочного продукта требованиям ГОСТ 17.5.1.03-86

№ п/п	Показатель, ед. изм.	Значение	Требования ГОСТ 17.5.1.03-86	Соответствие требованиям
1	рН водной вытяжки	8,0	5,5–8,4	Соответствует
2	Сухой остаток, %	0,02	0,1–1,0	Не соответствует
3	Сумма токсичных солей в водной вытяжке, %	0,05	0–0,4	Соответствует
4	CaSO ₄ ·2H ₂ O в солянокислой вытяжке, %	0,025	0–10	Соответствует
5	CaCO ₃ , %	0,019	0–30	Соответствует
6	Na, % от емкости поглощения	Менее 0,0020	0–5	Соответствует
7	Содержание фракции менее 0,01 мм, %	45,2	10–75	Соответствует
8	Содержание фракции более 300 мм, %	0	Более 10	Не соответствует

ного продукта являются инертные соединения, содержащие оксид кремния (40–42 %), алюминия (15–18 %), кальция (8–11 %), железа (до 10 %), щелочных металлов (суммарно до 15 %), которые входят в состав минеральных частиц. Опыт показывает, что данный побочный продукт может быть использован для технического этапа рекультивации нарушенных в качестве материала для заполнения карьерных выемок, траншей и т. д. [15, 16].

В настоящее время отсутствуют документально оформленные требования к побочному продукту из хвостов обогащения при его использовании для биологической рекультивации нарушенных земель, в связи с чем их пригодность в рамках данного исследования оценивали в соответствии с ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» для наиболее близкой по инженерно-геологической характеристике

категории «Связные несцементированные осадочные каменистые породы» (табл. 7).

По результатам исследования можно сделать вывод, что побочный продукт по основным показателям соответствует требованиям ГОСТ 17.5.1.03-86 к связным несцементированным осадочным каменистым породам и относится к материалам, малопригодным для биологической рекультивации по физическим свойствам, однако может быть использован для биологической рекультивации после улучшения физических свойств пород и специальных агротехнических мероприятий под лесонасаждения различного назначения, травосеяние с противоэрозионной целью, под ложе водоемов.

Заключение

В ходе данного исследования было установлено, что побочный продукт обогащения полевошпатовых руд и вскрышные породы, образуя-

щиеся при их добыче, могут быть использованы в качестве материала для рекультивации земель, сырьевых материалов для производства различных видов продукции: строительной керамики, содопашной смеси и щебня для строительных работ.

Проведенные исследования показали, что побочный продукт не позволяет снизить температуру обжига грубой керамики (керамического кирпича), но может быть использован в качестве добавки-отощителя как альтернатива кварцевому песку в сравнимых с ним дозировках (до 20 %).

В лабораторных условиях была выявлена принципиальная возможность получения содопашной смеси и глинозёма из шихты с применением 38 % побочного продукта.

При определении пригодности щебня из вскрышных пород для производства бетонов было установлено, что в исходном виде может быть использован только щебень фракции 20...40 мм с учетом ограничений по проектному классу прочности и планируемым условиям эксплуатации. В иных случаях возможность применения данных щебней в производстве бетонов должна быть под-

тверждена обосновывающими научными исследованиями.

Побочный продукт по основным показателям соответствует требованиям ГОСТ 17.5.1.03-86 к связным несцементированным осадочным каменистым породам и относится к материалам, мало пригодным для биологической рекультивации по физическим свойствам. Однако он может быть использован для биологической рекультивации после улучшения ряда физических свойств.

Кроме того, стоит обратить внимание на результаты рентгенофазового и минералогопетрографического анализа, показавшие, что в побочном продукте из хвостов обогащения содержится значительное количество биотита (гидробиотита). Данный минерал можно выделить из состава твердой части пульпы методом магнитной, воздушной или электростатической сепарации для последующего применения в производстве теплоизоляционных материалов (при условии высокого коэффициента вспучивания), декоративных штукатурных смесей, электроизоляционных и фрикционных материалов [17–22].

Список литературы

1. Трофимов Б.Я., Шулдяков К.В. Технология строительной керамики: учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. 524 с.
2. Лохова Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья: моногр. Братск: БрГУ, 2009. 268 с.
3. Макаров В.Н., Суворова О.В., Кулькова Н.М. Керамические материалы из отходов переработки слюдяных и апатит-нефелиновых руд // Вестник МГТУ. 2003. Т. 6, № 1. С. 149–154.
4. Абдрахимов В.З. Получение керамических стеновых материалов на основе монтмориллонитовой глины и «хвостов» обогащения полиметаллических руд // Строительство и реконструкция. 2022. № 4. С. 132–138.
5. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Применение плавней в производстве керамических материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 105–109.
6. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
7. Троицкий И.А., Железнов В.А. Металлургия алюминия. М.: Metallurgia, 1977. 392 с.
8. Алексеев А.И. Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе замкнутых технологических схем // Записки горного инженера. 2015. Т. 215. С. 75–82.
9. Самсонова Н.С. Минералы группы нефелина. М.: Изд-во «Наука», 1973.
10. Нефелиновые породы – комплексное алюминиевое сырье / Э.А. Аман, Е.Д. Андреева, С.Я. Данцинг и др. М.: Недра, 1988. 190 с.
11. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 334 с.
12. Косьянов П.М. Рентгенофизический анализ неорганических веществ сложного химического состава: моногр. Тюмень: ТИУ, 2016. 195 с.
13. Папко Л.Ф., Кравчук А.П. Физико-химические методы исследования неорганических веществ и материалов. Практикум: учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования специальности 1-48.01.01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий». Минск: БГТУ, 2013. 95 с.
14. Физические методы исследования твердых тел: электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ: учеб. пособие / О.В. Бояркина, М.И. Зотов, В.М. Кяшин и др. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2012. 96 с.
15. К вопросу использования отходов в рекультивации нарушенных земель / Г.В. Назарова, В.В. Иванов, Л.Д. Гаврильев, С.И. Миронова // Успехи современного естествознания. 2012. № 11-1. С. 135–136.

16. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты: монография. Пермь, 2010. 165 с.
17. Ушакова Е.Н. Биотиты метаморфических пород. М.: Наука, 1971.
18. Дриц В.А., Косовская А.Г. Минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 176 с.
19. Кобяшев Ю.С., Макагонов Е.П., Никандров С.Н. Минералы Вишневых и Потаниных гор. Миасс: Ильменский гос. заповедник УрО РАН, 1998. 77 с.
20. Левин В.Я. Щелочная провинция Ильменских – Вишнёвых гор (формации нефелиновых сиенитов Урала). М.: Наука, 1974.
21. Заяц А.П., Усенко И.С., Щербак И.Б. Биотиты докембрия. Киев: Наукова Думка, 1972. 208 с.
22. Ушакова Е.Н. Биотиты магматических пород // Труды института геологии и геофизики. Выпуск 454. Новосибирск: Наука, 1980. 327 с.

References

1. Trofimov B.Ya., Shuldyakov K.V. *Tekhnologiya stroitel'noy keramiki: uchebnoye posobiye* [Technology of building ceramics: textbook]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2019. 524 p. (in Russ.)
2. Loxova N.A. *Morozostoykiye stroitel'nyye keramicheskiye materialy i izdeliya na osnove kremnezemistogo syr'ya: monografiya* [Frost-resistant building ceramic materials and products based on silica raw materials: monograph]. Bratsk: BrGU; 2009. 268 p. (in Russ.)
3. Makarov V.N., Suvorova O.V., Kulkova N.M. [Ceramic materials from waste from processing mica and apatite-nepheline ores]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the MSTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University]. 2003;6(1):149–154 (in Russ.)
4. Abdraximov V.Z. Production of ceramic wall materials based on montmorillonite clay and “tailings” of polymetallic ores enrichment. *Building and reconstruction*. 2022;4(102):132-138. (in Russ.) DOI 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138
5. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. [Application of fluxes in the production of ceramic materials]. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2019;11:105–109. (in Russ.)
6. Avgustinik A.I. *Keramika* [Ceramics]. Leningrad: Stroyizdat Publ.; 1975. 592 p. (in Russ.)
7. Troiczkiy I.A., Zheleznov V.A. *Metallurgiya alyuminiya* [Aluminum metallurgy]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1977. 392 p. (in Russ.)
8. Alekseev A.I. Complex processing of apatite-nepheline ores based on closed technological schemes. *Journal of mining institute*. 2015(215):75–82. (in Russ.)
9. Samsonova N.S. *Mineraly gruppy nefelina* [Nepheline group minerals]. Moscow: Nauka Publ.; 1973. (in Russ.)
10. Aman E.A., Andreeva E.D., Danzig S.Ya. *Nefelinovyie porody - kompleksnoye alyuminiyevoye syr'ye* [Nepheline rocks - complex aluminum raw materials]. Moscow: Nedra Publ.; 1988. 190 p. (in Russ.)
11. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savelyev V.G. *Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv* [Methods for physical and chemical analysis of binders]. Moscow, Vysshaya shkola Publ.; 1981. 334 p. (in Russ.)
12. Kosyanov P.M. *Rentgenofizicheskiy analiz neorganicheskikh veshchestv slozhnogo khimicheskogo sostava: monografiya* [X-ray physical analysis of inorganic substances of complex chemical composition: monograph]. Tyumen: TIU; 2016. 195 p. (in Russ.)
13. Papko L.F., Kravchuk A.P. *Fiziko-khimicheskiye metody issledovaniya neorganicheskikh veshchestv i materialov. Praktikum: ucheb.-metod. posobiye dlya studentov uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya spetsial'nosti 1-48.01.01 «Khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv, materialov i izdeliy»* [Physicochemical methods for studying inorganic substances and materials. Workshop: educational method. a manual for students of higher education institutions, specialty 1-48.01.01 “Chemical technology of inorganic substances, materials and products.”]. Minsk: BGTU; 2013. 95 s.
14. Boyarkina O.V., Zotov M.I., Kashin V.M. *Fizicheskiye metody issledovaniya tverdykh tel: elektronnaya mikroskopiya i rentgenostrukturnyy analiz: ucheb. posobiye* [Physical methods for studying solids: electron microscopy and X-ray diffraction analysis: textbook]. Saransk: Mordovian University Publ.; 2012. 96 p. (in Russ.)
15. Nazarova G.V., Ivanov V.V., Gavrilyeva L.D., Use of waste for reclamation of disturbed lands in yakutia. *Advances in current natural sciences*. 2012;11:135–136. (in Russ.)
16. Voronchixina E.A. *Rekul'tivatsiya narushennykh landshaftov: teoriya, tekhnologii, regional'nyye aspekty: monografiya* [Reclamation of disturbed landscapes: theory, technology, regional aspects: monograph]. Perm: 2010. 165 p. (in Russ.)
17. Ushakova E.N. *Biotity metamorficheskikh porod* [Biotites of metamorphic rocks]. Moscow: Nauka Publ.; 1971.
18. Dricz V.A., Kosovskaya A.G. *Mineraly: slyudy, khlority* [Minerals: micas, chlorites]. Moscow: Nauka Publ.; 1991. 176 p. (in Russ.)

19. Kobyashev Yu.S., Makagonov E.P., Nikandrov S.N. *Mineraly Vishnevykh i Potaninykh gor* [Minerals of the Cherry and Potanin Mountains]. Miass: Ilmen State Nature Reserve of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 1998. 77 p. (in Russ.)

20. Levin V.Ya. *Shchelochnaya provintsiya Il'menskikh – Vishnëvykh gor (formatsii nefelinovykh siyenitov Urala)* [Alkaline province of the Ilmen – Cherry Mountains (formations of nepheline syenites of the Urals)]. Moscow: Nauka Publ.; 1974. (in Russ.)

21. Zayacz A.P., Usenko I.S., Shherbakov I.B. *Biotity dokembriya* [Biotites of the Precambrian]. Kiev: Scientific thought Publ.; 1972. 208 p. (in Russ.)

22. Ushakova E.N. *Biotity magmaticheskikh porod* [Biotites of igneous rocks]. Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1980. 327 p. (in Russ.)

Информация об авторах:

Ахмедьянов Ренат Магафурович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе, ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов», Челябинск, Россия, lab@2170812.ru

Гамалий Елена Александровна, кандидат технических наук, начальник департамента научных исследований НИЦ, ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов», Челябинск, Россия, eagamaliy@mail.ru

Кочмарчик Петр Викторович, заместитель технического директора по производству, АО «Вишневогорский горно-обогатительный комбинат», п. Вишневогорск, Челябинская область, Россия, kochmarchik87@mail.ru

Котельников Андрей Сергеевич, заместитель генерального директора по строительству, АО «Вишневогорский горно-обогатительный комбинат», п. Вишневогорск, Челябинская область, Россия, a.kotelnikov@gok74.ru

Information about the authors:

Renat M. Akhmedyanov, PhD (Eng.), Deputy General Director for Scientific Work, UralNIISTrom LLC, Chelyabinsk, Russia, lab@2170812.ru

Elena A. Gamaliy, Phd (Eng.), head of the scientific research department of the Scientific Research Center, UralNIISTrom LLC, Chelyabinsk, Russia, eagamaliy@mail.ru

Petr V. Kochmarchik, Deputy Technical Director for Production, Vishnevogorsk Mining and Processing Plant JSC, Vishnevogorsk settlement, Chelyabinsk region, Russia, kochmarchik87@mail.ru

Andrey S. Kotelnikov, Deputy General Director for Construction, Vishnevogorsk Mining and Processing Plant JSC, Vishnevogorsk settlement, Chelyabinsk region, Russia, a.kotelnikov@gok74.ru

Статья поступила в редакцию 08.04.2024, принята к публикации 16.04.2024.

The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 16.04.2024.