

УДК 666.12

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКОЛ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Р. Г. Мелконян¹, О. В. Суворова², Д. В. Макаров³

¹Московский горный институт НИТУ «МИСиС»

²ФГБУН Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН

³ФГБУН Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Аннотация

Приведены отличия горнопромышленных отходов от традиционного сырья для производства строительных и технических материалов, которые являются причиной столь низкого вовлечения вторичного сырья в переработку. Представлен обзор научной и патентной литературы, посвященной успешному применению горных пород, а также отходов горно-металлургического комплекса и других производств в качестве сырьевых компонентов при производстве стекла и стеклокристаллических строительных материалов.

Ключевые слова:

отходы горно-металлургического комплекса, стекла, стеклокристаллические материалы.

EXPERIENCE AND PROSPECTS TO USE MINING AND METALLURGICAL WASTES FOR MANUFACTURING GLASS AND GLASS-CERAMIC MATERIALS

Ruben G. Melkonyan¹, Olga V. Suvorova², Dmitriy V. Makarov³

¹Moscow State Mining University, National University of Science and Technology MISiS

²I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS

³Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of the RAS

Abstract

Distinctions between raw materials conventionally employed for production of building and technical materials and mining wastes result in very low reprocessing of these secondary raw materials. A survey of scientific literature and patents on the successful involvement of rocks and wastes from mining and smelting enterprises and other industrial wastes in the production of glass-ceramic building materials, is presented.

Keywords:

mining and metallurgical waste, glass and glass-ceramic materials.



Огромные объемы накопленных отвальных пород, хвостов обогащения, шлаков уже в настоящее время создают серьезные экономические и экологические проблемы в районах с развитым горно-металлургическим производством [1]. Как показали В. А. Чантурия и Б. М. Корюкин, горно-металлургический комплекс (ГМК) –

крупнейший источник промышленных отходов, речь идет об экспоненциальном росте загрязнения окружающей среды [2].

В работах В. Т. Калининкова и В. Н. Макарова выделены три класса горнопромышленных отходов (ГПО) по степени их экологической опасности [1, 3]:

- грубодисперсные отходы (вскрышные породы, шлаки), оказывающие неблагоприятное воздействие на природу только вследствие отчуждения земель под их хранение, нарушение гидрологического и гидрогеологического режима и воздушных массопереносов;
- отходы, являющиеся источником вторичного загрязнения воздушного бассейна и открытых водоемов пылью (хвосты безреагентного обогащения, не содержащие сульфидов, золошлаковые смеси ТЭЦ и др.);
- отходы, содержащие водорастворимые загрязнители и токсичные вещества и материалы, переходящие в водорастворимые соединения в процессе хранения в отвалах и хвостохранилищах.

Развиваемая концепция устойчивого развития техносферы предусматривает, в частности, решение экологических проблем путем использования отходов ГМК. С учетом огромных объемов отходов, реальным их потребителем может быть строительная отрасль как наиболее материалоемкая. Как известно, в мире ежегодно добываются сотни миллионов тонн песка, глины, известняка и других видов нерудного сырья для производства строительных материалов. Как правило, такого рода сырье содержится в небольших по глубине карьерах, что приводит к нарушению и выведению из хозяйственного оборота больших площадей земель и нарушению сложившегося экологического равновесия [1]. Объем складированных ГПО соизмерим с потребностью промышленности строительных материалов в минеральном сырье. Однако в настоящее время в России используется не более 8–10 % ГПО. Анализ причин столь низкого вовлечения вторичного сырья в переработку показал, что более 90 % таких материалов существенно отличаются от традиционных по минеральному и химическому составу, физико-химическим и технологическим свойствам [1, 4, 5].

Одним из наиболее существенных отличий является присутствие в составе ГПО минералов и элементов-примесей, не характерных для традиционного минерального сырья. Второе существенное отличие ГПО от традиционного сырья для производства строительных и технических материалов – высокая степень изменчивости их химического, минерального состава, физико-химических и технологических свойств [1, 6, 7].

Оба эти отличия связаны со спецификой образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых [1]. Последние формируются в условиях однообразной геохимической и физико-химической обстановки, вследствие этого состав и свойства пород на значительных площадях варьируют в очень небольших пределах. Рудные месторождения возникают в тех случаях, когда возможно повышение концентрации иногда в десятки и сотни раз отдельных компонентов. Это происходит только в условиях значительных градиентов геохимических и термодинамических параметров, что определяет, прежде всего, высокую изменчивость состава и свойств вмещающих пород. В целом ряде случаев возникают окolorудные изменения пород и окolorудные ореолы – повышенные содержания рудных или сопутствующих рудам минералов или отдельных элементов во вмещающих породах. Поскольку при производстве щебня из вскрышных пород одного из медно-никелевых месторождений не было учтено влияние на свойство бетона таких нехарактерных для традиционного сырья минералов, в период эксплуатации произошло разрушение бетона более чем на 100 объектах [1].

Многолетние исследования В. Н. Макарова с сотрудниками позволили сделать вывод, что неоднородность ГПО обусловлена [1]:

- геологическими причинами (непостоянством состава и свойств сырья в недрах – природная неоднородность);

• техногенными причинами (процессами разубоживания, засорения одного вида нерудного сырья другими видами и дифференциации вещества при складировании в отвалах и хвостохранилищах – техногенная неоднородность).

Как природная, так и техногенная неоднородность состава и свойств ГПО определяется различными факторами и может быть нескольких уровней. Для их устранения или сглаживания должны применяться различные технологические приемы, рассмотренные в работах [1, 7–9].

Опыт успешного применения горных пород, а также отходов ГМК и других производств в качестве сырьевых компонентов при производстве стекла и стеклокристаллических строительных материалов подробно проанализирован в монографии Р. Г. Мелконяна [10]. Проводимые в этой области работы условно разделены на четыре направления, а именно импользование:

- доменных и других металлургических и топливных шлаков для производства стекла и шлакоситаллов;
- первичного и вторичного стеклобоя для получения декоративно-отделочных стекломатериалов;
- горных пород и другого недефицитного минерального сырья для выработки стекловидных и стеклокристаллических материалов;
- отходов химических и других производств для получения стекла и ситаллов.

Ряд исследований посвящен синтезу стекол и разработке технологий производства облицовочных материалов на основе отходов обогащения различных руд. Так, на основе отходов обогащения железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (Лебединский ГОК) с использованием пород вскрыши карьеров разработаны оптимальные составы стекол типа марблит и ситаллов двух видов – эгиринового и геденбергит-диопсидового [11].

В [12] разработана технология утилизации хвостов обогащения медно-колчеданной руды Маднеульского месторождения (Грузия) в стекло. Хвосты использованы в производстве темно-зеленого стекла. При этом повысилась скорость реакции силикато- и стеклообразования в период варки стекла, что объясняется высокой дисперсностью хвостов и аморфностью содержащегося в них кремнезема. Использован следующий рецепт шихты (мас. %): хвосты – 72.6; нефелин – 8.2; известняк – 1.75; сода – 16.4; сульфат – 9.0; уголь – 0.5.

Разработан (С. В. Мулевановым [13, 14]) отделочный материал на основе хвостов обогащения фосфоритной руды.

В работе [15] предложены составы глушеных фосфатосиликатных стекол и технология получения марблита с использованием алюмокремнеземистых отходов.

Авторами [16] исследована возможность использования отходов углеобогажительных фабрик для получения стекла и стеклокристаллических материалов. Получены стекла и стеклокристаллические материалы, не уступающие шлакоситаллам по своим физико-химическим и механическим свойствам.

Разработаны составы бесфтористых стекол, глушение которых осуществляется различными способами, в том числе фосфатными соединениями (апатитовый концентрат Ковдорского ГОКа) [17].

Опыт использования гидрометаллургических шламов и сульфидсодержащих хвостов обогащения для получения стеклокерамических материалов, минерального волокна представлен в работах итальянских исследователей [18, 19].

В РХТУ им. Д. И. Менделеева совместно с НИИ «Автостекло» (г. Константиновка, Донецкая обл., Украина) был разработан новый конструкционный и отделочный материал – шлакоситалл, используемый в промышленности и гражданском строительстве [20]. Также на основе металлургических шлаков разработан новый стеклокристаллический материал – сигран [20]. В качестве технологических добавок предлагается использовать отходы химической промышленности для получения сиграна широкой гаммы цветов, в том числе светлых и красных тонов. Авторами [21] синтезированы составы шлакоситаллов на основе шлаков ТЭС.

В [22] показаны перспективы использования золы-уноса ТЭС для получения стекол и стеклокерамических материалов.

Китайскими авторами выявлена возможность получения эффективного стеклокерамического материала из пустой породы угледобычи [23]. Стеклокерамика, включающая 70 % отходов и 30 % CaO, характеризуется плотной и однородной микроструктурой с размером кристаллов около 4 мкм. Основной кристаллической фазой является геленит $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$, в небольших количествах зафиксирован нефелин $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Полученный материал характеризуется хорошими механическими свойствами, кислотостойкостью и щелочестойкостью.

Зарубежный опыт использования шлаков черной и цветной металлургии для производства различных строительных материалов, в том числе стекол и стеклокристаллических материалов, обобщен в обзорах [24, 25].

Развивается и совершенствуется технология каменного литья [26–38]. Производство литых изделий из плавящихся горных пород (базальта, диабазы и др.) в настоящее время широко распространено во всех промышленных странах. Материалы, получаемые методом каменного литья, имеют хорошие механические и химические свойства. Изделия после разлива в металлические или песчаные формы и термообработки приобретают красивый внешний вид, имитирующий природный камень. Полезные свойства изделий могут быть еще более усилены, если в технологии каменного литья использовать метод получения ситаллов (метод катализируемой кристаллизации). Возможности использования каменного литья в качестве замены природного материала (мрамора, гранита) для изготовления архитектурно-декоративных изделий рассмотрены авторами [36].

В [37] показана возможность применения фосфогипса – крупнотоннажного отхода производства фосфорных минеральных удобрений – в качестве сырьевого материала при производстве каменного литья. Литой камень, изготовленный с использованием фосфогипса, имеет черный цвет. Это позволяет использовать материал для изготовления наружной и внутренней облицовки зданий, брусчатки и плит мощения улиц и площадей, скульптур, элементов декора и т. д.

Некоторые искусственные и техногенные силикатные стекла рассматриваются как ювелирно-поделочное и декоративное сырье. Так, С. С. Потаповым и В. А. Наумовым [39] описаны техногенные минералоиды: тенгизит – стекловатый материал, образованный в очаге нефтяного пожара, опалесцит и стеклоагат из шлаковых отвалов предприятий черной металлургии Уральского региона, индигофорстерит – частично раскристаллизованный материал из кристаллов форстерита в матрице силикатного стекла, являющийся шлаком производства феррохрома на ряде заводов Челябинской области.

Как известно, традиционные сырьевые материалы для производства минерального волокна – основные горные породы габбро-базальтового типа [40]. Искусственное минеральное волокно широко применяют для производства теплоизоляционных и акустических изделий [41]. В мире наблюдается тенденция к увеличению производства теплоизоляционных материалов из минерального волокна, что обусловлено ростом капитального строительства энергосберегающих объектов и повышением их технико-экономических характеристик [41]. Вместе с тем, месторождения базальтов достаточно редки, а их добыча и подготовка требуют существенных затрат.

В этой связи перспективным направлением становится использование отходов ГМК для получения минерального волокна.

Большое значение при обосновании использования огненно-жидких шлаков медно-никелевой промышленности Заполярья (комбинат «Североникель», АО «Кольская ГМК») в производстве минерального волокна, шлакового литья и других строительных материалов имели работы Е. Е. Россинского, Б. А. Брянцева, В. Н. Макарова [42, 43]. Количество огненно-

жидких шлаков комбината практически полностью обеспечивало потребности стройиндустрии и энергетиков Мурманской обл. в минераловатных плитах.

Экспериментальным и расчетным путем подтверждена возможность использования шихты, содержащей в качестве основного компонента дисперсные отходы переработки гранитных пород, образующихся при производстве щебня и отсевов доломита, для производства минеральной ваты [40].

В Государственном научно-исследовательском институте стекла (ГИС) разработан декоративно-облицовочный материал – стеклокерамит, при изготовлении которого широко используются различные отходы стекла [44, 45]. Стеклокерамит – двухслойный композиционный материал, получаемый путем термообработки смеси стеклобоя, глины и песка. Нижний слой (подложка), содержащий около 70 % отходов стекла, представляет собой спеченный монолит с шероховатостью, обеспечивающей надежное сцепление плит со строительными конструкциями с помощью полимерцементных растворов. Дополнительное введение 30 % глины в нижний слой повышает прочность декоративно-облицовочного материала и существенно упрощает технологию его производства. Увлажненная смесь для нижнего слоя обладает достаточной пластичностью, что позволяет механизировать процесс формирования изделий с сохранением в дальнейшем приданной им формы. Лицевая сторона стеклокерамита представляет собой гладкую огненно-полированную поверхность. Для ее декорирования применяются гранулы различных цветных стекол, в том числе отходы, образующиеся при производстве цветных облицовочных материалов.

В Белорусском научно-исследовательском институте строительных материалов создана технология производства декоративно-облицовочного пеностекла-пенодекора, основным сырьем для которого служат отходы стекла и стекольный бой [46].

Разработан декоративно-облицовочный материал – порокремнезит, изготавливаемый путем спекания смеси из стеклобоя и кварцевого песка [47]. Для снижения плотности плит в нижний слой материала вводили вещества, способствующие газообразованию (мел).

На Ленинском стекольном заводе получен новый вид декоративно-облицовочного материала строительного назначения – стеклокремнезит [48]. Материал синтезирован на основе стеклогранулята определенного химического состава с использованием кварцевого песка и других добавок. Технология производства стеклокремнезита дает возможность производить изделия с практически неограниченным разнообразием цветовых оттенков и текстур, получая материал для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений. Введение в нижний конструкционный слой стеклокремнезитовых плит отходов горных производств, стекол, в том числе кристаллизующихся, дает возможность улучшить качественные показатели материала и его товарный вид, существенно снизить энергоемкость технологического процесса [48].

Как отмечено ранее, важнейшая проблема при переработке отходов ГМК в строительные материалы – неоднородность техногенного сырья. Для устранения ее влияния, регулирования свойств сырья и конечной продукции, управления параметрами технологического процесса В. Н. Макаровым с сотрудниками установлены и математически описаны взаимосвязи состава вторичного сырья и ряда важнейших технологических свойств – температуры полного плавления, вязкости при заданной температуре, растворимости в расплаве компонентов, инициирующих ликвацию, химической стойкости получаемых материалов [8, 9, 49–54]. Авторами разработаны алгоритм и программа вычисления температуры ликвидуса и логарифма вязкости алюмосиликатных расплавов по их химическому составу. Программа позволяет оперативно регулировать технологические параметры и организовать управление процессами варки и выработки расплавов, а также отжига готовых изделий при получении высокосортного минерального волокна, стекол, стеклокристаллических и керамических материалов, в том числе со специальными свойствами (декоративных, кислото- и щелочестойких, термостойких и др.). Данный подход можно применить и к другим технологиям (цветной и черной металлургии) и системам (шлакам, солевым расплавам и др.) [55–57].

Алгоритм исследований техногенного сырья для производства волокна и литых заготовок петруггическим рециклингом рассмотрен в работе А. М. Игнатовой [38]. Методика позволяет сделать вывод о том, какой именно тип петруггических материалов – стеклообразный или стеклокристаллический – возможно получить из исследуемого сырья. Установлено, что рециклинг применим по отношению к любому техногенному силикатному сырью. Отмечены следующие особенности: безжелезистые однокомпонентные шихты предпочтительнее для изготовления волокон, железистые – для литых заготовок. Применение корректирующих подшихтовок позволяет получать каменное литье из безжелезистых и волокно из железистых шихт.

Заключение

Вовлечение в переработку отходов ГМК – перспективное современное направление в промышленности строительных материалов. Использование вторичного сырья способствует снижению экологической нагрузки на окружающую среду, расширению минерально-сырьевой базы и сокращению потребности в первичном сырье. На основании представленного анализа литературных данных можно заключить, что к настоящему моменту предложено большое число технологических решений по разработке стекломатериалов с использованием техногенного сырья. Для решения проблем, возникающих при переработке отходов ГМК, разработаны алгоритм и программа оптимизации качества стекломатериалов из сырья непостоянного состава, описанные в работах [8, 9, 38, 49–54].

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров В. Н. Экологические проблемы утилизации горнопромышленных отходов: в 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. Ч. 1. 132 с.; Ч. 2. 146 с.
2. Чантурия В. А., Корюкин Б. М. Анализ техногенного минерального сырья Урала и перспективы его переработки // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения). Доклады международной конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. Т. 3. С. 26–34.
3. Калинин В. Т., Макаров В. Н., Кременецкая И. П. Классификация горнопромышленных отходов по степени их экологической опасности // Химия в интересах устойчивого развития. 1997. Т. 5, № 5. С. 169–178.
4. Макаров В. Н. Минералогические критерии комплексной переработки рудовмещающих гипербазитов. Апатиты: КНЦ РАН, 1989. 96 с.
5. Возможности и перспективы использования отходов горнопромышленного комплекса для получения стекла и стеклокристаллических материалов / О. В. Суворова [и др.] // Экология промышленного производства. 2011. № 1. С. 54–60.
6. Бетоны из вторичного сырья / Б. И. Гуревич [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 160 с.
7. Использование горнопромышленных отходов как сырья для производства строительных и технических материалов / В. Н. Макаров [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7, № 2. С. 183–187.
8. Математическое описание некоторых свойств расплавов базальтового состава / В. Т. Калинин [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 105 с.
9. Математическое описание зависимости вязкости от состава и температуры сульфидсодержащего базальтоидного расплава / В. Т. Калинин [и др.] // Доклады РАН. 1998. Т. 362, № 3. С. 357–358.
10. Мелконян Р. Г. Аморфные горные породы и стекловарение. М.: НИА Природа, 2002. 266 с.
11. Минько Н. И., Жерновая Н. Ф. Стеклообразование и свойства стекол в системах $\text{Na}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ // Всесоюзное совещание «Научно-технический прогресс в производстве стекла». М.: ВДНХ, 1983. С. 176.
12. Кутателадзе К. С. К вопросу использования горных пород в стекольной промышленности // Использование в стекольной промышленности недефицитных материалов. М.: ВНИИЭСМ, 1971. С. 3–11.
13. Мулеванов С. В. Синтез и разработка технологии облицовочного материала на основе отходов обогащения фосфоритной руды: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 15 с.
14. Мулеванов С. В. Особенности кристаллизации стекла на основе отходов обогащения фосфоритной руды // Стекло и керамика. 2008. № 6. С. 13–14.
15. Использование алюмокремнеземистых отходов для производства отделочных материалов / Б. Г. Варшал [и др.] // Стекло и керамика. 1982. № 3. С. 21–24.
16. Егорова Л. С., Ярокер Х. Г. Использование промышленных отходов в производстве цветных декоративно-строительных материалов // Сб. ВНИИЭСМ. Сер. 9, вып. 7. М.: ВНИИЭСМ, 1986. С. 15–17.
17. Якунов В. Ш. Использование апатитового концентрата для производства глушеного стекла // Сб. ВНИИЭСМ. Сер. 9, вып. 7. М.: ВНИИЭСМ, 1986. С. 37–39.
18. Crystallization of glasses obtained by recycling goethite industrial wastes to produce glass-ceramic materials / M. Pelino [et al.] // Journal of Material Science. 1994. Vol. 29. P. 2087–2094.
19. New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre / A. M. Marabini [et al.] // International Journal of Mineral Processing. 1998. Vol. 53. P. 121–134.
20. Саркисов П. Д. Направленная кристаллизация стекла – основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов. М.: Высшая школа, 1997. 216 с.
21. Синтез стекол для получения шлакосталлов на основе шлаков ТЭС / Е. А. Яценко [и др.] // Стекло и керамика. 2009. № 9. С. 8–9.
22. Erol M., Küçükbayrak S., Ersoy-Merçöyü A. Comparison of the properties of glass, glass-ceramic and ceramic materials produced from coal fly ash // Journal of Hazardous Materials. 2008. Vol. 153. P. 418–425.
23. Preparation of $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ glass ceramics from coal gangue / M. Yang [et al.] // International Journal of Mineral Processing. 2012. Vol. 102–103. P. 112–115.
24. Gorai B., Jana R. K., Premchand. Characteristics and utilization of copper slag – a review // Resources, Conservation and Recycling. 2003. Vol. 39, N 4. P. 299–313.

- 25** Piatak N. M., Parsons M. B., Seal R. R. Characteristics and environmental aspects of slag: a review // Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 236–266. **26.** Лебедева Г. А., Озерова Г. П., Калинин Ю. К. Классификация петруггического сырья. Л., 1979. 120 с. **27.** Технология декоративного каменного литья и механическая обработка изделий из него / Л. К. Тимофеева [и др.] // Сб. ВНИИЭСМ. Сер. 9, вып. 12. М.: ВНИИЭСМ, 1983. С. 15. **28.** Декоративное каменное литье: а. с. СССР № 1143710 / Е. К. Назимова [и др.]. **29.** Способ получения каменного литья: а. с. СССР № 1230839 / Е. К. Назимова, А. А. Предовский, Г. В. Вебер. **30.** Декоративное каменное литье – веберит: а. с. СССР № 1289851 / Е. К. Назимова, А. А. Предовский, Г. В. Вебер. **31.** Декоративное каменное литье: а. с. СССР № 330096 / Е. К. Назимова [и др.]. **32.** Ушаков Д. Ф., Ильина В. П. Декоративный стеклокристаллический материал // Стекло и керамика. 1991. № 6. С. 25–26. **33.** Декоративное каменное литье и шихта для декоративного каменного литья: пат. РФ № 2033398. / В. Н. Макаров, И. С. Кожина. **34.** Ильина В. П. Стеклокристаллические материалы на основе минерального и техногенного сырья Карелии // Стекло и керамика. 2007. № 9. С. 20–23. **35.** Физико-химическое моделирование процессов формирования базальтовых расплавов для петруггии / И. З. Бабиевская [и др.] // Неорганические материалы. 2008. Т. 44, № 12. С. 1476–1482. **36.** Игнатова А. М., Черных М. М., Игнатов М. Н. Изготовление художественных и архитектурно-декоративных изделий каменного литья // Стекло и керамика. 2011. № 6. С. 31–35. **37.** Колдаев А. Б. Каменное литье: применение при производстве строительных изделий // Химическая технология. 2014. Т. 15, № 4. С. 193–200. **38.** Игнатова А. М. Алгоритм исследования техногенного сырья для производства волокна и литых заготовок петруггическим рециклингом // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 160–165. **39.** Потапов С. С., Наумов В. А. Искусственные и техногенные силикатные стекла как ювелирно-поделочное и декоративное сырье // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: ПГУ, 2006. Вып. 9. С. 146–153. **40.** Исследование возможности использования дисперсных отходов переработки гранитных горных пород для производства минеральной ваты / А. В. Бортников [и др.] // Обогащение руд. 2014. № 6. С. 33–37. **41.** Термическая устойчивость минераловатных теплоизоляционных материалов / М. П. Красновских [и др.] // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87, № 10. С. 1429–1433. **42.** Россинский Е. Е. Металлургические шлаки медно-никелевой промышленности Заполярья (свойства и применение). Л., 1974. 284 с. **43.** Строительные и технические материалы из минерального сырья Кольского полуострова / В. Н. Макаров [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. Ч. 1. 234 с. **44.** Стеклокерамит – новый декоративно-облицовочный материал / Н. Г. Кисиленко [и др.] // Стекло и керамика. 1983. № 8. С. 15–17. **45.** Туркина В. Ю., Кисиленко Н. Г., Полуротова Т. В. Стеклокерамит – эффективный облицовочный материал // Реф. информация. Серия «Стекольная промышленность». М.: ВНИИЭСМ, 1988. Вып. 7. С. 6–8. **46.** Производство пеностекла – облицовочного материала из вспененного стекла / Б. К. Демидович [и др.] // Промышленность строительных материалов. Серия «Стекольная промышленность». М.: ВНИИЭСМ, 1985. Вып. 9. С. 8–11. **47.** Мелконян Р. Г., Тимонина Г. П. Использование отходов в производстве отделочных материалов // ВНИИЭСМ. Экспресс-информация. Технология строительных материалов. М.: ВНИИЭСМ, 1983. Вып. 2. С. 8–11. **48.** Быков А. С. Стеклокремнезит. Технология производства и применения в строительстве. М.: Стройиздат, 1994. 256 с. **49.** Макаров В. Н., Суворова О. В., Макарова И. В. Расчет вязкости расплавов в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ // Физика и химия стекла. 1998. Т. 24, № 6. С. 767–773. **50.** Макаров В. Н., Суворова О. В. Растворимость апатита в силикатных расплавах, содержащих диопсид // Стекло и керамика. 1997. № 2. С. 18–20. **51.** Декоративные стекла из вторичного сырья / В. Н. Макаров [и др.] // Стекло и керамика. 1998. № 8. С. 22–24. **52.** Химический состав и свойства фосфатсодержащего декоративного стекла / В. Н. Макаров [и др.] // Журнал прикладной химии. 1998. Т. 71, № 5. С. 736–739. **53.** Растворимость апатита в алюмосиликатных расплавах систем альбит-диопсид, анортит-диопсид и ортоклаз-диопсид / В. Н. Макаров [и др.] // Физика и химия стекла. 2002. Т. 28, № 3. С. 255–264. **54.** Рентгенографическое исследование структуры многокомпонентных стекол на основе горнопромышленных отходов / Р. Н. Осауленко [и др.] // Кристаллография. 2004. Т. 49, № 4. С. 649–654. **55.** Макарова И. В., Макаров В. Н., Макаров Д. В. К вопросу расчета вязкости некоторых металлургических шлаков // Металлы. 1999. № 5. С. 22–25. **56.** Макарова И. В., Макаров В. Н., Макаров Д. В. Математическое описание поверхности ликвидуса некоторых металлургических шлаков // Изв. вузов. Черная металлургия. 2000. № 3. С. 10–13. **57.** Калинин В. Т., Макарова И. В., Макаров Д. В. Математическое описание некоторых свойств металлургических шлаков. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 139 с.

Сведения об авторах

Мелконян Рубен Гарегинович – доктор технических наук, профессор Московского горного института НИТУ «МИСиС»;

e-mail: mrg-kanazit@mail.ru

Суворова Ольга Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра РАН;

e-mail: suvorova@chemy.kolasc.net.ru

Макаров Дмитрий Викторович – доктор технических наук, зав. лабораторией экологии промышленного производства ФГБУН Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН;

e-mail: makarov@inep.ksc.ru

Information about the authors

Ruben G. Melkonyan – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Moscow State Mining University, National University of Science and Technology MISiS;

e-mail: mrg-kanazit@mail.ru

Olga V. Suvorova – PhD (Eng.), senior researcher of the I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS;

e-mail: suvorova@chemy.kolasc.net.ru

Dmitry V. Makarov – Dr. Sci. (Eng.), head of laboratory of the Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of the RAS;

e-mail: makarov@inep.ksc.ru

Библиографическое описание статьи

Мелконян Р.Г. Опыт и перспективы использования отходов горно-металлургического комплекса для получения стекол и стеклокристаллических материалов / *Р. Г. Мелконян, О. В. Суворова, Д. В. Макаров* // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. – № 1 (24). – С. 81–88.

Bibliographic Description

Ruben G. Melkonyan, Olga V. Suvorova, Dmitry V. Makarov. Experience and Prospects to Use Mining And Metallurgical Wastes for Manufacturing Glass And Glass-Ceramic Materials. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS.* 2016, vol. 1 (24), pp. 81-88.