

УДК 666.12

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

**Р. Г. Мелконян<sup>1</sup>, О. В. Суворова<sup>2</sup>, Д. В. Макаров<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Московский горный институт НИТУ «МИСиС»

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

<sup>3</sup>ФГБУН 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. Melkonyan<sup>1</sup>, Olga V. Suvorova<sup>2</sup>, Dmitriy V. Makarov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Moscow State Mining University, National University of Science and Technology MISiS

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

<sup>3</sup>Institute 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 околорудные изменения пород и околорудные 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, кислото- 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. *Калинников 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.