

# Комплексное использование сырья — путь к созданию безотходных и малоотходных технологий

В настоящее время важнейшим направлением охраны окружающей среды при расширении сырьевой базы Республики Беларусь является разработка и внедрение безотходных и малоотходных технологий. Идея безотходной технологии была предложена в конце 70-х годов XX века. В довольно полном виде представление о ней было сформулировано на Общевропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды (Женева, 1979 год). Здесь же была принята Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов, в которой давалось следующее определение: «Безотходная технология — это практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

Эта формулировка постоянно претерпевает изменения в связи с развитием представлений об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов и с решением конкретных задач по созданию и внедрению безотходных и малоотходных технологий. В настоящее время общепризнанной является формулировка, принятая на семинаре Европейской экономической комиссии ООН по малоотходной технологии, который состоялся в 1984 году в Ташкенте. В соответствии с этим документом безотходная технология — это такой способ производства продукции, при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле «сырье — производство — потребление — вторичное сырье» таким образом, что любое воздействие на окружающую среду не на-

рушает ее нормального функционирования.

В представленном определении уже содержатся основные принципы создания безотходной технологии:

- во-первых, подчеркивается необходимость использования сырьевых ресурсов в цикле, включая сферу потребления. Такой цикл возможно организовать только в рамках территориально-промышленного комплекса, т.е. в документе заложены принцип кооперирования производств и региональный подход. В этом случае безотходная технология будет являться сознательно организованным и регулируемым человеком техногенным круговоротом сырья, продукции и отходов;

- во-вторых, присутствует принцип обязательного включения в производство всех компонентов сырья при максимально возможном использовании потенциала энергетических ресурсов;

- в-третьих, составной частью концепции безотходного производства является обеспечение нормального функционирования окружающей среды. Критериями ее качества в настоящее время выступают предельно допустимые концентрации (ПДК) и определяемые на их основе предельно допустимые выбросы в атмосферу (ПДВ) и предельно допустимые сбросы в водоемы (ПДС). В будущем планируется переход к более жестким критериям — предельно допустимым экологическим концентрациям (ПДЭК) или предельно допустимым экологическим нагрузкам (ПДЭН). Основное различие между ними заключается в том, что в первом случае внимание сосредоточено на сохранении здоровья человека, а во втором — на сохранении нормального функционирования всей экологической системы.

Концепция безотходной технологии носит в некоторой степени условный характер. В ней существует теоретический предел, идеальная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично, но с развитием технического прогресса со все большим приближением к этому пределу. Таким образом, создание безотходных производств — довольно продолжительный и сложный процесс, который требует решения ряда задач научно-технического, технологического, экономического, законодательного и административно-организационного характера.

Промежуточный этап перехода к безотходным технологиям — создание малоотходных технологий. Под малоотходной технологией понимается такой способ производства продукции, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого нормативами качества окружающей среды (ПДК, ПДВ, ПДС), при этом допускается, что часть сырья по объективным причинам переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение. Однако эта часть сырьевых материалов должна быть сведена к минимуму, технически достижимому в данный момент времени.

За последние десятилетия белорусские геологи открыли большое количество важных для страны месторождений нерудных полезных ископаемых и подготовили базу для создания и развития строительной индустрии, производства разнообразных силикатных строительных материалов. Тем не менее в большинстве случаев разрабатываемые месторождения полезных ископаемых используются нерационально: значительная часть горных пород отправляется в отходы. Поэтому

особую актуальность приобретают исследования по использованию отходов как на разрабатываемых, так и на потенциально перспективных месторождениях.

Примером первых может служить Микашевичское месторождение строительного камня, разрабатываемое РУП «Гранит». Здесь при производстве дорожного щебня количество некондиционных отсевов (фракция 0-5 мм) составляет около 25 процентов. Небольшая часть используется для выделения фракции 2-4 мм, которая применяется как добавка в бетоны, при изготовлении дорожных камней и так далее. Остальные отсевы в настоящее время рассматриваются как отходы и направляются в отвалы.

Некондиционные отсевы, представляющие собой отходы, получаемые при дроблении добываемой на месторождении смеси гранитов и метадиабазов, имеют усредненный химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  — 60,29;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 15,21;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  — 8,59;  $\text{CaO}$  — 4,31;  $\text{MgO}$  — 3,21;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 2,45;  $\text{K}_2\text{O}$  — 4,41;  $\text{MnO}$  — 0,19;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,35. Содержание главных породообразующих оксидов таких элементов, как кремнезем, алюминий, магний и железо, позволило предположить возможность их использования в качестве сырьевой основы для получения силикатных материалов многоцелевого назначения.

Экспериментально-технологические исследования по использованию отсевов горных пород Микашевичского месторождения, проведенные на кафедре технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологического университета в содружестве с Институтом геохимии и геофизики НАН Беларуси, подтвердили возможность получения на их основе различных типов силикатных материалов: стекол, стекловидных покрытий (глазурей) широкой цветовой гаммы, износостойких стеклокристаллических материалов (петроситаллов, каменного литья мономинерального пироксенового состава). Их применение для производства силикатных материалов позволит обеспечить комплексное использование сырья, снизить количество образующихся отходов и, таким образом, приблизиться к безотходной технологии.

Потенциально-перспективными видятся выявленные Белорусской

геологоразведочной экспедицией в кристаллическом фундаменте центральной части Беларуси массивы мафит-ультрамафитовых пород, залегающих на сравнительно небольшой глубине (80-100 м). В составе этих массивов, согласно классификации магматических пород, различаются роговообманковые перидотиты, оливин-роговообманковые пироксениты и амфиболовые габбро. Породы имеют средне-крупнозернистые структуры, сходный минеральный и химический состав. Для всех пород характерны низкая глиноземистость, преобладание магния над кальцием, значительное содержание оксидов железа, присутствие примесей хрома, никеля, титана, цинка, свинца, стронция, бария. Содержание основных оксидов в породах колеблется в пределах (мас. %):  $\text{SiO}_2$  — 43,16-48,80;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 3,28-4,57;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 9,37-13,78;  $\text{MgO}$  — 19,67-26,49;  $\text{CaO}$  — 4,40-13,96, что позволяет отнести их к системе  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO}$ . Щелочные оксиды и примеси, суммарное содержание которых составляет около 2,5 мас. %, не учитываются. Существенное содержание оксидов магния и железа является благоприятной предпосылкой возможного получения на основе данных пород стекол, стекловидных и стеклокристаллических материалов шпинель-пироксенового состава.

В данной работе были исследованы девять проб ультрамафических пород из трех массивов. На первом этапе проведены эксперименты по определению температур начала плавления пород и образования из них расплавов. Полученные результаты представлены в таблице 1.

При температуре 1500 °С с выдержкой 1 час были синтезированы стекла из пород без технологических добавок. Установлено, что породы № 1-4 и 9 хорошо провариваются, отливаются, в толстом слое имеют черный цвет, в тонком — бутылочный. Однако они склонны к кристаллизации при выработке, что требует введения добавок для улучшения их технологических свойств. Стекла № 5 и 6 вполне технологичны, хорошо провариваются и не кристаллизуются при выработке. Стекла № 7 и 8 также неплохо провариваются, однако они более вязкие, чем стекла № 1-4 и 9.

Сопоставление свойств полученных расплавов с химическим составом пород показало их прямую зависимость, что позволило выделить три группы пород: первая группа № 1-4 и 9; вторая — № 5-6; третья — № 7-8, из которых были приготовлены смеси, имеющие усредненный состав, представленный в таблице 2. Эти смеси условно обозначены как А, В и С соответственно.

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования по получению стеклокристаллических материалов, стекло и покрытий на основе данных пород с подшихтовкой недефицитной технологической добавкой (содовым плавом, который является отходом производства капролактама) для введения щелочного компонента и с введением стимулирующей кристаллизации добавки ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Установлена возможность получения ситаллов на базе составов А и В без введения инициаторов кристаллизации с температурным интервалом ситаллообразования 850-1000 °С. Это объясняется присут-

Таблица 1. Температура плавления и образования расплавов

№ породы	№ скважины	Глубина отбора пробы, м	Температура начала плавления, °С	Температура образования расплавов, °С
1	581	117,4	1220-1230	1400-1410
2	581	134,0	1220-1230	1400-1410
3	583	116,0	1220-1230	1400-1410
4	583д	136,0	1220-1230	1400-1410
5	631	149,0	1240-1245	1400-1410
6	631	191,0	1240-1250	1400-1410
7	636д	141,0	1260-1270	1460-1470
8	636д	177,0	1260-1270	1460-1470
9	581	107,5	1220-1230	1400-1410

**Таблица 2.** Усредненный состав ультрамафических пород

Оксиды	Содержание, мас. %		
	A	B	C
SiO <sub>2</sub>	47,21	48,70	43,81
TiO <sub>2</sub>	0,40	0,27	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,64	3,67	3,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,20	9,21	13,17
MnO	0,19	0,16	0,14
MgO	21,25	20,91	26,41
CaO	10,31	13,54	4,64
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,45	0,36
K <sub>2</sub> O	0,33	0,32	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,04	0,05
Ппп	2,86	2,84	7,74
Cr	0,13	0,17	0,55
Ni	0,05	0,09	0,11
Сумма	100,21	100,36	100,65

ствием значительных количеств оксидов железа и примесных компонентов, достаточных для стимулирования фазообразования. Сырьевая композиция для получения стеклокристаллических материалов является простой двухкомпонентной системой «ультрамафит — содовый плав», что исключает применение технических оксидов и обуславливает экономическую целесообразность их синтеза.

В работе была исследована возможность получения декоративных фриттованных и нефритованных глазурных покрытий на базе этих же смесей. Нефритованные (сырые) глазури готовились методом совместного мокрого помола исследуемой породы с содовым плавом и последующим нанесением на керамическую плитку, прошедшую утильный обжиг. Химический состав глазурей соответствовал составам смесей А, В и С, приведенным в таблице 2.

Фриттованные глазури готовились также методом мокрого помола из предварительно синтезированных стекол этих же составов, а также с добавлением оксида хрома Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (составы АХ, ВХ, СХ) для исследования процессов возможной кристаллизации покрытий при обжиге и расширения цветовой гаммы. Цветовые характеристики синтезированных глазурей (визуальная оценка) приведены в таблице 3.

Все синтезированные глазурные покрытия бархатисто-матовые, характеризуются хорошим сцепле-

**Таблица 3.** Цветовые характеристики синтезированных покрытий

№	Цветовые характеристики	
	Фриттованные	Нефритованные
A	Светло-терракотовый	Темно-болотный
B	Горчичный	Горчичный
C	Светло-коричневый	Шоколадно-коричневый
AХ	Терракотовый	-
BХ	Темно-горчичный	-
CХ	Шоколадно-коричневый	-

нием с черепком, глазурь СХ имеет трещиноватую поверхность, типичную для глазури «кракле». Все полученные глазурные покрытия могут найти применение в производстве художественной керамики, так как имеют ярко выраженный декоративный эффект.

Проведенные исследования подтвердили возможность синтеза на основе ультрамафитов черных стекол, глазурных покрытий и стеклокристаллических материалов. Фазовый состав последних, представленный пироксеновыми твердыми растворами, шпинелидами и энстатитом, может быть получен без применения стимулирующих кристаллизацию технических оксидов. В перспективе будут проведены исследования возможности получения на основе или с добавкой ультрамафических пород каменного литья и строительных керамических материалов (кирпич, облицовочная плитка, черепица).

Большое значение для экономики страны имеет использование только природного сырья и техногенных отходов (отсевов производства дорожного щебня, содового плава и др.) в сырьевых композициях силикатных материалов. Комплементарность составов некондиционных отсевок и ультрамафитов позволяет предполагать возможность их совместного использования для синтеза стекол, стекловидных покрытий и стеклокристаллических материалов. При этом относительно низкое содержание оксидов магния и железа в отсевах будет компенсироваться их значительным содержанием в ультрамафитах, а небольшое содержание оксида алюминия в ультрамафитах — повышенным его количеством в отсевах.

Такое комплексное использование сырья позволит приблизиться к безотходным технологиям, что в

свою очередь не только будет иметь экономический эффект, но и снизит отрицательное воздействие на окружающую среду. При этом будет принесена значительная польза сразу нескольким отраслям промышленности и техники, вклад которых в создание безотходных технологий практически равноценен.

**Светлана БАРАНЦЕВА,**  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник кафедры  
технологии стекла и керамики  
Белорусского государственного  
технологического университета,

**Ольга ЗАЛЫГИНА,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры промышленной экологии  
Белорусского государственного  
технологического университета,

**Нина АКСАМЕНТОВА,**  
доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник  
Института геохимии и геофизики  
НАНБ