

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ СИНТЕЗА СТЕКОЛ, ПЕТРОСИТАЛЛОВ И КАМЕННОГО ЛИТЬЯ

Канд. техн. наук С. Е. БАРАНЦЕВА¹ (e-mail: svetbar@tut.by), канд. техн. наук А. И. ПОЗНЯК² (e-mail: poznyak.a87@gmail.com), канд. техн. наук Ю. А. КЛИМОШ¹, Н. Н. ГУНДИЛОВИЧ¹

¹Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Беларусь, г. Минск)

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Россия, г. Москва)

Приведены результаты исследования возможности использования магматических пород Республики Беларусь для синтеза стекол, петроситаллов и каменного литья. Для оптимизации технологических процессов использована составная часть иерархического моделирования – создание структуры кластера (дендрограммы). Выявлена зависимость свойств, структуры и вида формируемых кристаллических фаз от химико-минерального состава пород и температурно-временных параметров термической обработки как основных критериальных факторов, обеспечивающих направленное структуро- и фазообразование при получении стеклокристаллических материалов

Ключевые слова: магматические породы, гранитоиды, диабаз, базальт, стекло, петроситалл, каменное литье, термообработка, структура, фазовый состав

THE USE OF IGNEOUS ROCKS OF THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE SYNTHESIS OF GLASS, PETROSITAL AND STONE CASTING

S. E. Barantseva¹, A. I. Pozniak², Yu. A. Klimosh¹, N. N. Gundilovich¹

¹Belarusian State Technological University (Belarus, Minsk)

²National University of Science and Technology "MISIS" (Russia, Moscow)

The research results of the possibility of using igneous rocks to synthesize glasses, petrositals, and stone casting are presented in the paper. To optimize technological processes, an integral part of hierarchical modeling – the creation of cluster structures (dendrograms) is used. The dependence of the properties, structure and type of the formed crystalline phases on the chemical and mineral composition of rocks and temperature-time parameters of heat treatment is revealed as the main criterial factors providing directional structure and phase formation during the preparation of glass-crystalline materials

Keywords: igneous rocks, granitoids, diabase, basalt, glass, petrosital, stone casting, heat treatment, structure, phase composition

Эффективная переработка горных пород является в настоящее время актуальной задачей, поскольку вносит весомый вклад не только в расширение минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов республики за счет использования различных полезных ископаемых, но и способствует улучшению экологической ситуации прилегающих к горно-перерабатывающим предприятиям территорий за счет утилизации образующихся некондиционных отходов дробления. При этом особую актуальность приобретают исследования по использованию отходов как на разраба-

тываемых, так и на потенциально-перспективных месторождениях.

Целью исследования является изучение возможности многофункционального использования магматических пород Республики Беларусь – гранитоидных, базальтовых и диабазовых для синтеза стекол, петроситаллов и каменного литья.

В настоящее время широкое распространение находит иерархическое моделирование технологических процессов получения различных видов продукции, составной частью которого, согласно основам технотоники [1], является создание структу-

ры развития кластера (дендрограммы), позволяющей по-новому отнестись к совершенствованию и оптимизации технологических процессов получения стекол и стекломатериалов соответствующего назначения. Кластер объединяет любую группу объектов или явлений, в нашем случае стадий технологического процесса, которые составляют единое целое. Для развития структуры кластера использовалось дерево целей – структурированный иерархический перечень, в котором цели более низкого уровня подчинены целям более высокого уровня и служат для достижения генеральной цели – получения материалов различного назначения с заданными характеристиками и показателями свойств [1].

Построение дерева целей само по себе является методикой разработки стратегии достижения поставленной генеральной цели. Соответственно, результат и качество построенной иерархической совокупности целей непосредственно зависят от

правильной постановки технологических задач. Таким образом, механизм целеполагания представляет собой набор действий, позволяющих сформировать комплекс задач функционирования и развития кластера.

Выполнение исследований проводилось в соответствии со структурой кластера, развитие которого приведено на рис. 1. Каждая ветвь дерева целей представляет собой последовательные стадии технологического процесса, выполнение которых приводит к достижению генеральной цели.

Объектом исследования являлись магматические породы Республики Беларусь, в частности гранитоидные, диабазовые и базальтовые.

Микашевичское месторождение гранитоидных пород, относящееся к кристаллическому фундаменту юга Беларуси, расположенное в Брестской области, разрабатывается РУПП «Гранит», которое на сегодняшний день представляет собой многофункциональный технологический комплекс.

Гранитоидные отсеивы – это отходы производства дорожного щебня, наиболее доступное и дешевое природное сырье, имеющее довольно стабильный химический состав за счет неоднократного промежуточного дробления. Основными минералами гранитоидов являются полевые шпаты, общее содержание всех разновидностей которых достигает 80 – 85 % (альбит, калиевый полевой шпат), кварц, биотит, амфибол. Присутствуют в небольшом количестве акцессорные минералы – циркон, сфен, магнетит.

Месторождение диабазов расположено в пределах Житковичского горста Нагорновского комплекса юга Республики Беларусь. Диабаз является палеотипным аналогом основных магматических горных пород (базальта и долерита) и близок к ним не только по минеральному и химическому составу, но и по структуре. Он состоит из: плагиоклаза (лабрадор-андезит), по которому развивается альбит, пренит, эпидот, цоизит, карбонаты; моноклинного пироксена (авгит), замещаемого амфиболом; оли-

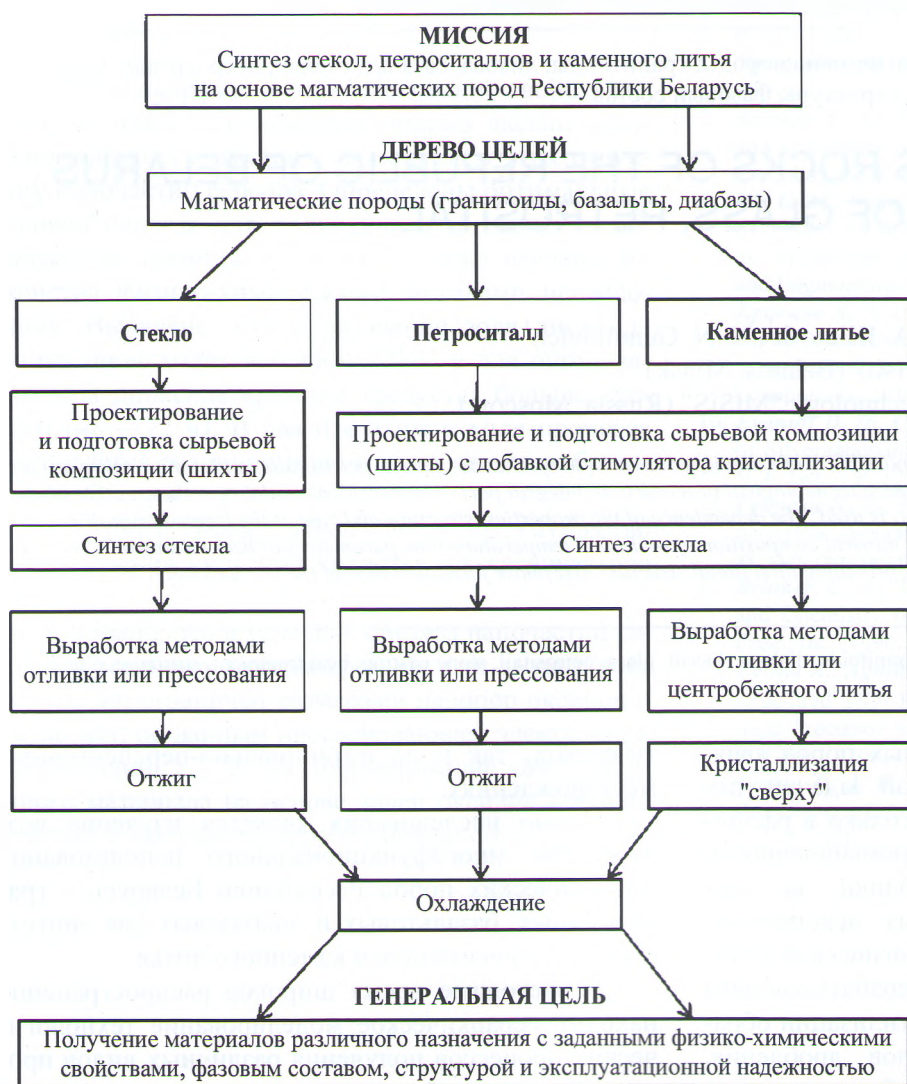


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации

вина и серпентиновых псевдоморфоз по нему; магнетита и титаномагнетита с вторичным лейкоксеном. В некоторых разновидностях в виде микропегматитовых агрегатов присутствуют кварц и калиевый полевой шпат, цвет в монолите темно-серый или зеленовато-черный.

Экспериментальные пробы базальтов вендской трапповой формации месторождения Новодворское из скважин, пробуренных в Пинском районе Брестской области Республики Беларусь, представляют собой темно-серые, черные или зеленовато-черные породы, обладающие стекловатой, скрытокристаллической афировой или порфировой структурой. По минералогическому составу базальт представлен в основном плагиоклазом и клинопироксеном, в небольших количествах присутствуют оливин и рудные минералы (магнетит, ильменит), анальцит.

Следует отметить, что гранитоидные породы добываются на разрабатываемом месторождении, а базальтовое и диабазовое месторождения являются потенциально перспективными.

Разработка рецептуры синтезируемых материалов на основе магматических пород, оптимизация температурно-временных параметров синтеза стекла и их термической обработки для получения стеклокристаллических материалов являются кри-

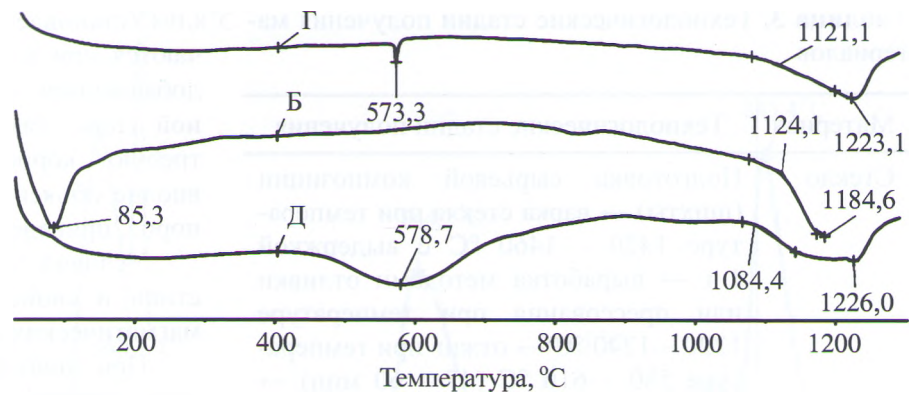


Рис. 2. Кривые ДСК исследуемых пород Г – гранитоиды; Б – базальт; Д – диабаз

териальными научными основами для управления процессами стекло-, структуро- и фазообразования в процессе получения материалов с заданными физико-химическими свойствами во взаимосвязи с химическим составом используемых магматических пород, приведенным в табл. 1 [2, 3].

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии экспериментальных магматических пород определены температурные интервалы их плавления, составляющие 1185 – 1225 °С (рис. 2). Образование расплавов происходит при 1280 – 1300 °С, что подтверждено экспериментально градиентной термической обработкой в интервале 700 – 1350 °С.

Качественный состав сырьевых композиций для синтеза стекол, петроситаллов и каменного литья и технологические стадии их получения приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 1. Усредненный химический состав экспериментальных проб

Исследуемая порода	Массовое содержание оксидов, %									п.п.п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO + Fe ₂ O ₃	K ₂ O + Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
Гранитоиды	61,64	14,86	4,38	3,32	8,94	2,52	0,93	0,35	0,19	2,87
Диабаз	45,54	14,84	7,78	9,43	11,3	4,67	0,59	0,20	0,42	5,23
Базальт	46,11	11,49	5,0	7,87	14,0	4,30	1,74	0,31	–	9,18

Таблица 2. Качественный состав сырьевых композиций

Синтезируемый материал	Компоненты сырьевой композиции
Стекло	1) гранитоидные отсеvy + кальцинированная сода 2) базальт 3) диабаз
Петроситалл	1) гранитоидные отсеvy + кальцинированная сода + доломит + оксид хрома (хромитовая руда) 2) базальт + кальцинированная сода + доломит + оксид хрома (хромитовая руда)
Каменное литье	3) диабаз + кальцинированная сода + мел + доломит + оксид хрома (хромитовая руда)

Таблица 3. Технологические стадии получения материалов

Материал	Технологические стадии получения
Стекло	Подготовка сырьевой композиции (шихты) → варка стекла при температуре 1420 – 1460 °С с выдержкой 1 ч → выработка методами отливки или прессования при температуре 1220 – 1240 °С → отжиг при температуре 580 – 610 °С (45 – 60 мин) → охлаждение
Петроситалл	Подготовка сырьевой композиции (шихты) → варка стекла при температуре 1440 – 1460 °С с выдержкой 1 ч → выработка методами отливки или прессования при температуре 1200 – 1230 °С → отжиг при температуре 580 – 610 °С (45 – 60 мин) → охлаждение → кристаллизация при 830 – 850 °С в течение 1 ч → охлаждение
Каменное литье	Подготовка сырьевой композиции → варка стекла при температуре 1440 – 1460 °С с выдержкой 1 ч → выработка методами отливки или центробежного литья при температуре 1220 – 1290 °С → кристаллизация горячих отливок в печи, нагретой до 830 – 890 °С, 1 ч → охлаждение

Установлено, что технологические стекла получают при использовании гранитоидных пород с добавлением оксида натрия в виде кальцинированной соды, базальтовые и диабазовые породы не требуют корректировки щелочным оксидом, что вполне объяснимо различием химического состава пород, приведенного в табл. 1.

Условия синтеза, технологические характеристики и свойства стекол, полученных на основе магматических пород, приведены в табл. 4.

При получении петроситаллов и каменного литья система сырьевых композиций дополнялась оксидом хрома Cr_2O_3 , широко известным своей эффективностью при получении пироксеновых ситаллов, шлакоситаллов и каменного литья [4 – 7].

Стекла для петроситалла и каменного литья синтезировались из сырьевых композиций, приведенных в табл. 2. Стеклам и петроситаллам, полученным на основе гранитоидов, диабаза и базальта, присвоены индексы ПГ, ПД и ПБ соответственно, а стеклам и образцам каменного литья – КГ, КД и КБ. При подборе температурных параметров термической обработки стекол достаточно информативным методом является дифференциально-сканирующая калориметрия, позволяющая определить температурный интервал кристаллизации, оценить активность и интенсивность процессов формирования кристаллических фаз. Фрагменты кривых ДСК стекол для петроситаллов и каменного литья представлены на рис. 3. Анализ данных дифференциальной сканирующей калориметрии позволил принять за основу температурные интервалы и параметры

Таблица 4. Условия синтеза, технологические характеристики и свойства стекол, полученных на основе магматических пород

Условия синтеза, технологические характеристики и свойства стекол	Индекс стекла		
	Г (гранитоидное)	Д (диабазовое)	Б (базальтовое)
Температура варки, °С	1450 – 1460	1420 – 1430	1420 – 1430
Температура выработки, °С	1220 – 1240	1210 – 1230	1210 – 1230
Склонность к кристаллизации	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Выработочная вязкость, Па·с	89,28	58,95	60,1
Температура отжига, °С	580 – 610	560 – 590	560 – 590
Продолжительность, мин	45 – 60	45 – 60	45 – 60
Интервал размягчения, °С	680 – 710	660 – 690	660 – 690
Плотность, кг/м ³	2,6 – 2,7	2,6 – 2,7	2,6 – 2,7
Микротвердость, МПа	6670	6650	6600
Химическая устойчивость, %:			
кислотостойкость	67,5	66,3	66,4
щелочестойкость	95,3	94,2	94,4

режимов кристаллизации стекол для интенсивного формирования пироксенов, которые составляют для стекол на основе гранитоидов 850 – 890 °С, на основе диабазов и базальтов – 830 – 850 °С.

Следует отметить, что технологические и физико-химические свойства термообработанных стекол для петроситалла и каменного литья практически идентичны, поскольку их составы проектировались по одному принципу, основанному на расчете модуля кислотности и кислородного числа, составляющих 3,9 – 4,2 и 2,9 – 3,1 соответственно. Вследствие этого предполагалась идентичность условий синтеза и свойств петроситаллов и каменного литья, однако физико-химические свойства образцов каменного литья несколько выше, что подтверждено данными, приведенными в табл. 5, и объясняется, очевидно, различием количества стекловидной фазы, присутствующей в продуктах кристаллизации стекол, полученных при разных условиях термообработки.

Электронно-микроскопическое изображение структуры образцов петроситаллов (ПГ, ПД, ПБ) и каменного литья (КГ, КД, КБ), представленное на рис. 4, получено с реальной поверхности их сколов при увеличении в 1000 раз с использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5610 LV, оснащенного системой локального микрозондового химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония). Следует отметить, что структура образцов петроситаллов отличается большей однородностью и меньшими размерами кристаллов, чем у каменного литья. Присутствие октаэдрических образований в продуктах кристаллизации (см. рис. 4) свидетельствует о наличии центров кристаллизации, которые согласно локальному микрозондовому химическому анализу соответствуют хромпикотиту $(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al)_2O_4$, являющемуся одной из разновидностей хромшпинелидов, на которых формируется пироксеновый твердый раствор типа авгита $Ca(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)(Si, Al)_2O_6$ [5, 7].

Следует отметить, что кристаллы хромпикотита сохраняют свою устойчивость на всех этапах кристаллизации стекол, синтезированных на основе магматических пород. Наиболее отчетливо это просматривается на микрофотографиях петроситалла

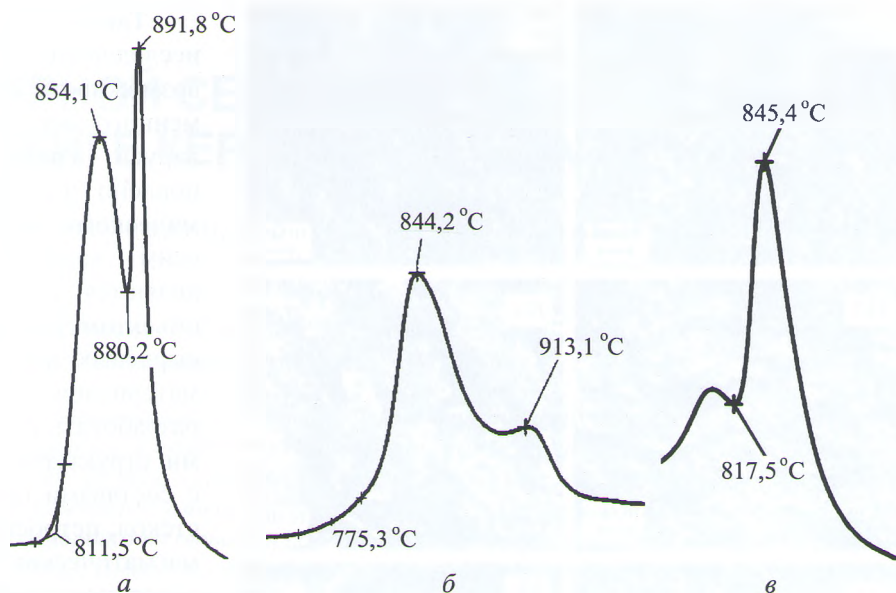


Рис. 3. Фрагменты кривых ДСК стекол для петроситаллов и каменного литья

a – на основе грантоидов; *b* – диабазов; *v* – базальтов

Таблица 5. Условия синтеза и свойства петроситаллов и каменного литья

Условия синтеза, характеристики и свойства	Петроситаллы	Каменное литье
	ПГ, ПД, ПБ	КГ, КД, КБ
Температура, °С:		
варки	1450 – 1460	1450 – 1460
выработки	1220 – 1240	1220 – 1290
отжига	580 – 590	Не проводился
термообработки	830 – 850	830 – 890
Время выдержки, мин	55 – 60	60
Структура материала	Плотная, однородная	Плотная, однородная
Размер кристаллов, мкм	1 – 3	10 – 30
Плотность, кг/м ³	2860 – 2870	2900 – 2920
Микротвердость, МПа	8100 – 8120	8780 – 8800
Кислотостойкость, %	98,5 – 99,1	99,98 – 99,99
Щелочестойкость, %	92,1 – 92,3	93,6 – 93,8
Потери при истирании, г/см ²	0,059	0,023

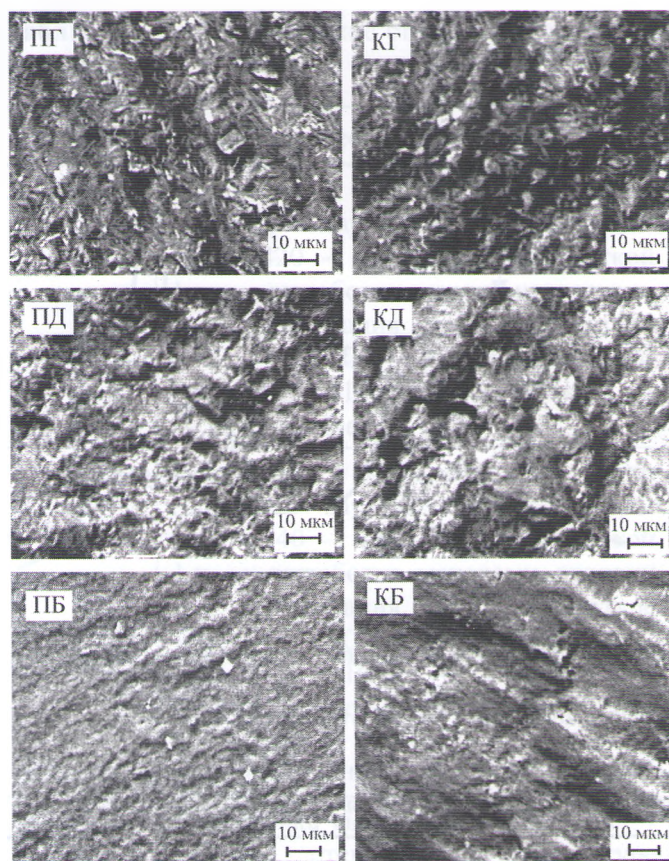


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение поверхности скола образцов петроситаллов (ПГ, ПД, ПБ) и каменного литья (КГ, КД, КБ) при увеличении $\times 1000$

и каменного литья (см. рис. 4), полученных на основе гранитоидов (ПГ и КГ) и диабазов (ПД и КД).

Согласно данным рентенофазового анализа, выполненного с использованием рентгеновского дифрактометра Miniflex 600 (Rigaku, Япония) с программным обеспечением PDXL (Rigaku, Япония), в исследуемых образцах помимо авгита и хромпикотита диагностируется присутствие небольшого количества кальциевого клиноферросилита $(Ca, Fe)Si_2O_6$, кристобалита SiO_2 и магнезиоферрита $MgFe_2O_4$.

Таким образом, в результате проведенного исследования экспериментально подтверждена возможность синтеза стекол, петроситаллов и каменного литья на основе магматических пород Беларуси – гранитоидов, диабазов и базальтов. Установлено, что по геолого-структурной позиции, химическому, минеральному составу и технологическим характеристикам магматические породы являются приемлемым отечественным сырьевым объектом для использования в качестве компонента сырьевых композиций при получении указанных материалов. Результаты исследований позволили разработать научные основы управления процессами структуро- и фазообразования во взаимосвязи с составами сырьевых композиций для получения стекол, петроситаллов и каменного литья на основе магматических пород Беларуси, целесообразность и перспективность использования которых вполне оправдана и подтверждена проведенными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворцин М. Д., Юсим В. Н. Технодинамика: Основы теории формирования и развития технологических систем. М.: Междунар. фонд истории науки «Дикси», 1993. 317 с.
2. *Полезные ископаемые* Беларуси / Б. В. Курзо [и др.]; под ред. П. З. Хомича. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. 528 с.
3. *Химические анализы* горных пород кристаллического фундамента Белоруссии: справочник / А. М. Пап [и др.]. Минск: Наука и техника, 1988. 243 с.
4. Павлушкин Н. М. Основы технологии ситаллов. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1979. 360 с.
5. Жунина Л. А., Кузьменков М. И., Яглов В. Н. Пироксеновые ситаллы. Минск: БГУ, 1974. 222 с.
6. *Экспериментальная и техническая петрология* / Е. Н. Граменицкий [и др.]. М.: Научный мир, 2000. 415 с.
7. Баранцева С. Е. Синтез и исследование пироксенового шлакоситалла на основе доменного шлака: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1972. 36 с.