

Научная статья
УДК 666.616; 552.11
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.024

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ И ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Светлана Евгеньевна Баранцева¹, Юрий Александрович Климош²,
Ростислав Юрьевич Попов³, Ирина Михайловна Азаренко⁴, Мария Андреевна Курилович⁵**

^{1–5}Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

¹svetbar@tut.by

²klim-aspir@mail.ru

³rospopov@mail.ru

⁴ir_az@mail.ru

⁵kurillovich.maria@gmail.com

Аннотация

Разработана рецептура сырьевых композиций, содержащих в качестве основного компонента магматические и осадочные породы разведанных месторождений Республики Беларусь, получены керамические материалы, стекла, петроситаллы и каменное литье. Оценка физико-химических процессов, происходящих при нагревании исследуемых пород, формировании структуры и фазообразовании материалов в процессе их термической обработки позволила разработать научные основы получения силикатных материалов с необходимым комплексом физико-химических свойств.

Ключевые слова:

гранитоиды, базальты, диабазы, глауконитсодержащие породы, сырьевые композиции, силикатные материалы

Благодарности:

статья выполнена при поддержке республиканского бюджета Министерства образования Республики Беларусь по теме научно-исследовательской работы ГБ 21-190 задания 8.6 Государственной программы научных исследований «Строительные материалы» и республиканского унитарного предприятия «НПЦ по геологии» (город Минск).

Для цитирования:

Научные и технологические аспекты рационального использования магматических и осадочных пород для получения силикатных материалов / С. Е. Баранцева [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 4. С. 139–144. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.024

Original article

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE RATIONAL USE OF IGNEAL AND SEDIMENTARY ROCKS TO OBTAIN SILICATE MATERIALS

**Svetlana E. Barantseva¹, Yuri A. Klimosh², Rostislav Yu. Popov³, Irina M. Azarenko⁴,
Maria A. Kurilovich⁵**

^{1–5}Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

¹svetbar@tut.by

²klim-aspir@mail.ru

³rospopov@mail.ru

⁴ir_az@mail.ru

⁵kurillovich.maria@gmail.com

Abstract

The formulation of raw compositions containing igneous and sedimentary rocks of explored deposits of the Republic of Belarus as the main component has been developed, ceramic materials, glasses, petrositals and stone casting have been obtained. Evaluation of the physico-chemical processes occurring during the heating of the rocks under study, the formation of the structure and phase formation of materials during their heat treatment allowed us to develop scientific foundations for the production of silicate materials with the necessary complex of physico-chemical properties.

Keywords:

granitoids, basalts, diabases, glauconite-containing rocks, raw materials compositions, silicate materials

Acknowledgments:

the article was prepared with the support of the republican budget of the Ministry of Education of the Republic of Belarus on the topic of research work GB 21-190, task 8.6 of the State Scientific Research Program "Building Materials" and the Republican Unitary Enterprise "RPC for Geology", Minsk.

For citation:

Scientific and technological aspects of the rational use of igneal and sedimentary rocks to obtain silicate materials / S. E. Barantseva [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 139–144. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.4.024

Введение

Устойчивое социально-экономическое развитие страны, ее экономическая безопасность во многом определяются наличием собственных минерально-сырьевых ресурсов, их рациональным и комплексным использованием. Минерально-сырьевая база является одним из важнейших стратегических элементов национальной безопасности любого государства, способных увеличить объем высоколиквидной продукции, получаемой при переработке отечественных полезных ископаемых.

Целью настоящего исследования является разработка рецептуры сырьевых композиций, технологических рекомендаций и научных основ получения широкой линейки силикатных материалов различного назначения на основе магматических и осадочных пород Республики Беларусь. Проведение настоящей научно-исследовательской работы подтверждается необходимостью создания новых материалов для строительства, в частности, теплоизоляционных пористых заполнителей для легких бетонов, керамических материалов, декоративно-художественных стекол, а также стеклокерамических материалов — петроситаллов и каменного литья с повышенными физико-химическими свойствами для нужд химической, горнодобывающей промышленности и индустриального текстиля.

Материалы и методы

При проведении исследования основными компонентами сырьевых композиций разрабатываемых материалов являлись отечественные магматические породы разрабатываемых и перспективно-потенциальных месторождений магматических пород, представленных гранитоидами, базальтами и габбро-диабазами, а также осадочные вскрышные породы, представленные глауконитсодержащими песками, алевритами и алевролитами.

Крупнейшим предприятием на территории Республики Беларусь и в Европе по добыче и переработке строительного камня является республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит», сырьевой базой которого служит месторождение строительного камня «Микашевичи», промышленные запасы которого составляют 518,380 млн м³. Главное акцентирующее внимание уделяется изучению возможности получения силикатных материалов на основе и с использованием гранитоидных отсеков, являющихся некондиционной фракцией при производстве дорожного щебня и составляющих порядка 25 % от общего количества производимого щебня.

Исследуемым сырьевым компонентом также являлся диабаз перспективно-потенциального диабазового месторождения Нагорновского комплекса Житковичского района Гомельской области. Диабазы и габбро-диабазы слагают дайки различной мощности, из которых детально изучена самая крупная — мощностью 250 м, протянувшаяся небольшими перерывами на 20 км.

Новодворское месторождение базальтов и сапонитсодержащих туфов расположено на территории Пинского района Брестской области. По результатам поисково-оценочных работ и проведения разведки предварительно оцененные запасы и прогнозные ресурсы этих пород составляют 203,830 млн т. Полезным ископаемым на месторождении являются вулканогенные отложения, сложенные толеитовыми базальтами, туфами основного состава, туффитами и лавобрекчиями. Попутные полезные ископаемые представлены вскрышными глауконитсодержащими породами — песками, алевритами и алевролитами четвертичного и палеогенового возраста, предварительно оцененные запасы которых по категориям C1+C2 составляют 77,098 млн м³.

Основными критериями пригодности использования вышеприведенных пород для получения силикатных материалов различного назначения является их химический (табл. 1) и минеральный (табл. 2) состав [1–3].

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

| Компоненты | Содержание оксидов, мас. % | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|------|------|------------------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------------------|------|----------|
| | 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 | П. п. п. |
| Гранитоиды | 61,63 | 14,86 | 4,38 | 3,32 | 8,94 | 2,52 | 0,93 | 0,35 | 0,19 | 2,87 |
| Базальт | 46,11 | 11,49 | 5,00 | 7,87 | 14,00 | 4,30 | 1,74 | 0,31 | – | 9,18 |
| Диабазы и габбро-диабазы | 45,54 | 14,84 | 7,78 | 9,43 | 11,30 | 4,67 | 0,59 | 0,20 | 0,42 | 5,23 |
| Глауконитсодержащая порода | 74,26 | 8,28 | 1,21 | 1,79 | 9,29 | 2,30 | 0,79 | – | 0,14 | 1,94 |

Таблица 2

Качественный минеральный состав используемых пород

| Компоненты | Минеральный состав |
|---|--|
| Гранитоиды | Полевые шпаты 80–85 мас. % (альбит, калиевый полевой шпат), кварц, биотит, амфибол. Присутствуют в небольшом количестве аксессуарные минералы — циркон, сфен, магнетит |
| Базальт | В основном плагиоклазы и клинопироксены, в небольших количествах присутствуют оливин и рудные минералы (магнетит, ильменит), анальцит и вулканическое стекло |
| Диабазы и габбро-диабазы | Плагиоклаз (лабрадор-андезит), по которому развивается альбит, пренит, эпидот, цоизит, карбонаты; моноклинный пироксен (авгит), магнетит и титаномагнетит со вторичным лейкоксеном. В некоторых разновидностях присутствуют кварц и калиевый полевой шпат |
| Глауконитсодержащая порода (пески, алевриты и алевролиты) | Кварц, полевые шпаты (альбит, анортит ортоклаз), каолинит, мусковит, сидеритом, фосфаты. Содержание глауконита варьирует в пределах 10–25 мас. % |

В настоящее время широкое распространение находит иерархическое моделирование технологических процессов получения различных видов продукции, составной частью которого (согласно основам технодинамики [4]) является создание структуры развития кластера (дендрограммы), позволяющей обоснованно и аргументированно отнестись к совершенствованию и оптимизации технологических процессов получения керамических, стеклокристаллических материалов и стекол. Кластер объединяет любую группу объектов или явлений, в нашем случае — стадий технологического процесса, которые составляют единое целое [4]. 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 требуемыми показателями физико-химических свойств. Выполнение исследований проводилось в соответствии со структурой кластера, развитие которого приведено на рис. 1, при этом каждая ветвь дерева целей представляет собой последовательные стадии технологического процесса, выполнение которых приводит к достижению генеральной цели.

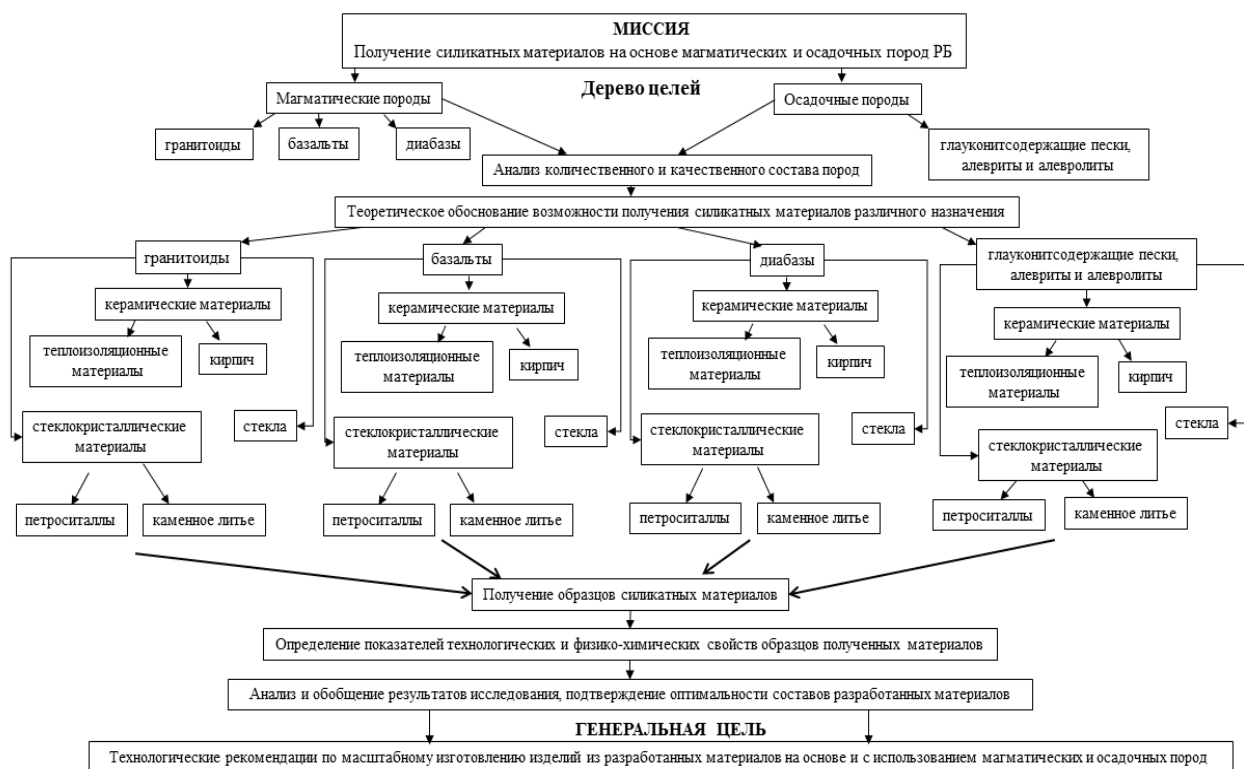


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации

Результаты

Изготовление образцов разрабатываемых материалов производилось с соблюдением соответствующей для каждого типа силикатных материалов технологии получения. Так, процесс изготовления образцов теплоизоляционного пористого заполнителя включал подготовку сырьевой композиции, формование сырцовых гранул, сушку при комнатной температуре, обжиг по двухстадийному режиму (1 стадия — 610–630 °С, 2 стадия — 1170–1210 °С), охлаждение и разделение на фракции; керамического кирпича — подготовку сырьевых компонентов, приготовление керамической массы, формование массы пластическим способом, сушку и обжиг (980–1000 °С); стекла (марблит) — подготовку шихты, варку стекла (1450–1470 °С), выработку методом отливки или прессования, отжиг (510–540 °С) и охлаждение; петроситалла и каменного литья — подготовку шихты, варку стекла (1470–1490 °С), выработку методами отливки, прессования или центробежного литья. Последующую кристаллизацию для получения петроситалла проводили непосредственно после отжига образцов по двухстадийному режиму (1-я стадия — 710 °С, 2-я стадия — 940 °С) согласно классической ситалловой технологии. Для получения образцов каменного литья кристаллизацию отливок производили в нагретой печи до температуры 910–920 °С непосредственно после их формования согласно камнелитейной технологии. Качественный состав сырьевых композиций разрабатываемых материалов приведен в табл. 3.

Таблица 3

Качественный состав сырьевых композиций

| Материал | Компоненты сырьевых композиций | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------|----------------|---------|-----------------|-----------------------|-----|--------------|------------|----------|
| | порода | глина | карбид кремния | доломит | кварцевый песок | кальцинированная сода | мел | оксид железа | оксидхрома | глинозем |
| Пористый заполнитель | + | + | + | – | – | – | – | – | – | – |
| Керамический кирпич | + | + | – | – | + | – | – | – | – | – |
| Стекло (марблит) | + | – | – | – | + | + | + | + | – | – |
| Стеклокерамические материалы | + | – | – | + | – | + | – | – | + | + |

Следует отметить, что при получении вышеуказанных материалов роль и влияние используемых пород практически аналогичны, требуется лишь корректировка рецептуры сырьевых композиций в зависимости от химико-минерального состава исходных материалов и их назначения. Поэтому показатели физико-химических свойств образцов, полученных на основе и с использованием магматических — гранитоидных, базальтовых, диабазовых пород и осадочных — глауконитсодержащих вскрышных отложений варьируются в допустимых пределах и не имеют значительных отличий.

Так, для теплоизоляционных пористых заполнителей наиболее востребованной фракции (14–16 мм) они следующие: объемная плотность — 650–780 кг/м³, насыпная плотность — 420–470 кг/м³, механическая прочность при сжатии — 2,1–2,3 МПа, коэффициент теплопроводности — 0,070–0,078 Вт/м·К, водопоглощение — 7,4–8,2 %, коэффициент вспучивания — 2,6–2,9; для керамического кирпича — механическая прочность при сжатии — 10–12 МПа, морозостойкость — 65–75 циклов; водопоглощение — 9–10 %; для стекол (марблит) — плотность — 2600–2700 кг/м³, микротвердость — 6650–6700 МПа, кислотостойкость в 1н Н₂SO₄ — 67,5–68,2 %, щелочестойкость в 1н NaOH — 95,3–96,1 %; для петроситалла и каменного литья — плотность — 2800–3300 кг/м³, микротвердость — 8100–8800 МПа, износостойкость — 0,01–0,03 г/см², кислотостойкость в 1н Н₂SO₄ — 99,3–99,8 %, щелочестойкость в 1н NaOH — 97,1–97,7 %. Технологические характеристики и физико-химические свойства образцов из разработанных материалов удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации, предъявляемым к материалам аналогичного назначения.

Фотографии образцов разработанных силикатных материалов с использованием магматических и осадочных пород, приведены на рис. 2.
















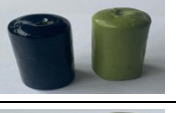




| Материал | Основной компонент | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| | Гранитоиды | Базальт | Диабаз | Глауконитсодержащая порода |
| Теплоизоляционные пористые материалы |  |  |  |  |
| Керамический кирпич |  |  |  |  |
| Стекло марблит |  |  |  |  |
| Петроситалл |  |  |  |  |
| Каменное литье |  |  |  |  |

Рис. 2. Фотографии образцов разработанных силикатных материалов

Основные выводы и заключение

Результаты исследования возможности использования магматических и осадочных пород для получения силикатных материалов различного назначения показали перспективность и целесообразность их применения в качестве кремнийсодержащего компонента сырьевых композиций.

Таким образом, обеспечение процесса направленного синтеза стекол, стеклокристаллических материалов, а также управляемый технологический процесс получения керамических материалов включает следующие этапы: анализ задач, решаемых в исследовании; кластеризация с целью обеспечения рационального подхода к выполнению исследований; проектирование составов материалов во взаимосвязи с прогнозируемыми физико-химическими свойствами; изучение комплекса структурных особенностей и фазовых превращений при термообработке полуфабрикатов керамических образцов, стекол для петроситаллов и каменного литья; установление взаимосвязи и взаимозависимости составов материалов и физико-химических свойств; разработка технологических рекомендаций для проведения испытаний и внедрения результатов.

Установлено, что по геолого-структурной позиции, химическому, минеральному составу и технологическим характеристикам магматические породы — гранитоиды, базальты, диабазы и осадочные — глауконитсодержащие пески, алевриты и алевролиты являются приемлемыми отечественными сырьевыми объектами для получения силикатных материалов различного назначения. При промышленной разработке месторождений результаты исследования могут служить основанием для масштабного использования этих полезных ископаемых, что внесет существенный вклад в расширение минерально-сырьевой базы Республики Беларусь и разработку импортозамещающих безотходных технологий, касающихся их добычи.

Список источников

1. Полезные ископаемые Беларуси. Минск: Адукацыя і выхаванне / Редкол.: П. З. Хомич и др. 2002. С. 528.
2. Химические анализы горных пород кристаллического фундамента Белоруссии: справочник / А. М. Пап [и др.]. Минск: Наука и техника, 1988. С. 243.
3. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) / О. Ф. Кузьменкова и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Минск: СтройМедиаПроект, 2017. С. 172–176.

4. Дворцин М. Д., Юсим В. Н. Технодинамика: основы теории формирования и развития технологических систем. М.: Международный фонд истории науки «Дикси», 1993. С. 317.

References

1. *Poleznye iskopaemye Belarusi* [Minerals of Belarus]. Minsk, Adukacyja i vyhavanne, 2002, p. 528. (In Russ.).
2. Пап А. М., Аксментова Н. В., Арhipова А. А., Найденков И. В. *Himicheskie analizy gornyh porod kristallicheskogo fundamenta Belorussii: spravocnik* [Chemical analyzes of rocks of the crystalline basement of Belarus: a reference book]. Minsk, Nauka i tehnika 1988, p. 243. (In Russ.).
3. Kuzmenkova O. F., Streltsova G. D., Minenkova T. M., Lappo G. A., Kachanko G. B., Laptsevich A. G., Lugin A. G., Mankevich S. S. Glaukonitsoderzhashchie porody poiskovogo uchastka Pinskiy (Belarus') [Glauconite-bearing rocks of the Pinskiy prospecting site (Belarus)]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy zapada Vostochno-Evropejskoj platformy: problemy izucheniya i racional'nogo ispol'zovaniya* [Geology and mineral resources of the west of the East European platform: problems of study and rational use]. Minsk, StroyMediaProekt, Publ., 2017, pp. 172–176. (In Russ.).
4. Dvortsin M. D., Yusim V. N. *Tekhnodinamika: Osnovy teorii formirovaniya i razvitiya tekhnologicheskikh sistem* [Technodynamics: Fundamentals of the theory of formation and development of technological systems]. Moscow, Mezhdunarodnyy fond istorii nauki “Diksi”, 1993, 317 p. (In Russ.).

Информация об авторах

С. Е. Баранцева — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Ю. А. Климош — кандидат технических наук, доцент;
Р. Ю. Попов — кандидат технических наук, доцент;
И. М. Азаренко — младший научный сотрудник;
М. А. Курилович — магистрант.

Information about the authors

S. E. Barantseva — PhD, Senior Researcher;
Yu. A. Klimosh — PhD, Associate Professor;
R. Yu. Popov — PhD, Associate Professor;
I. M. Azarenko — Junior Researcher;
M. A. Kurilovich — Master's student.

Статья поступила в редакцию 28.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 28.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.