

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Научная статья

УДК 666.199

DOI: 10.7868/S3034530825050093

**Способ получения композиционного
материала на основе базальта для его
применения в художественной сфере**

А.Е. Диденко[✉], В.В. Андреев, А.А. Чащин, А.А. Карабцов,
М.А. Ушкова, О.О. Шичалин, А.А. Белов, Э.С. Колодезников

Арсений Евгеньевич Диденко
инженер-исследователь
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
didenko.ae@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8616-8191>

Вадим Вячеславович Андреев
кандидат технических наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
andreev.vv@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9798-2028>

Александр Адольфович Чащин
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
achashchin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6169-6748>

Александр Александрович Карабцов
кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
karabzov@fegi.ru

Мария Александровна Ушкова
ведущий инженер
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
m_ushkova@list.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3981-7099>

Олег Олегович Шичалин
кандидат химических наук, научный сотрудник
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
shichalin_oo@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2441-6209>

Антон Алексеевич Белов

кандидат химических наук, научный сотрудник

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

belov_aa@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3120-819X>

Эрхан Сергеевич Колодезников

лаборант-исследователь

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

kolodeznikov.es@dvfu.ru

<https://orcid.org/0009-0001-8150-036X>

Аннотация. Разработан способ получения композиционного материала на основе базальта с медным наполнителем методом искрового плазменного спекания. Установлено, что образец, спеченный при 1080 °С и давлении 3,8 кН, обладает кристаллической структурой с равномерным распределением меди, высокой плотностью и отражательной способностью, что делает его перспективным для художественных применений. В отличие от него образец, полученный при 1300 °С без давления, имеет аморфную структуру и повышенную пористость. Результаты исследования имеют перспективы применения данного материала в художественной сфере, включая создание мозаики, декоративных панелей, а также использование в ювелирном деле.

Ключевые слова: композиционный материал, базальт, композит на основе базальта

Для цитирования: Диденко А.Е., Андреев В.В., Чащин А.А., Карабцов А.А., Ушкова М.А., Шичалин О.О., Белов А.А., Колодезников Э.С. Способ получения композиционного материала на основе базальта для его применения в художественной сфере // Вестн. ДВО РАН. 2025. № 5. С. 116–125. <http://dx.doi.org/10.7868/S3034530825050093>

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ДВГИ ДВО РАН.

Original article

Method of obtaining composite material based on basalt for its use in the art field

A.E. Didenko, V.V. Andreev, A.A. Chashchin, A.A. Karabtsov,
M.A. Ushkova, O.O. Shichalin, A.A. Belov, E.S. Kolodeznikov

Arseniy E. Didenko

Research Engineer

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

didenko.ae@dvfu.ru

<https://orcid.org/0009-0001-8616-8191>

Vadim V. Andreev

Candidate of Sciences in Technique, Associate Professor

Far East Federal University, Vladivostok, Russia

andreev.vv@dvfu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9798-2028>

Alexander A. Chashchin

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

achashchin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6169-6748>

Alexander A. Karabtsov

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Leading Researcher
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
karabzov@fegi.ru

Maria A. Ushkova

Leading Engineer
Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
m_ushkova@list.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3981-7099>

Oleg O. Shichalin

Candidate of Sciences in Chemistry, Researcher
Far East Federal University, Vladivostok, Russia
shichalin_oo@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2441-6209>

Anton A. Belov

Candidate of Sciences in Chemistry, Researcher
Far East Federal University, Vladivostok, Russia
belov_aa@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3120-819X>

Erkhan S. Kolodeznikov

Laboratory Research Assistant
Far East Federal University, Vladivostok, Russia
kolodeznikov.es@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8150-036X>

Abstract. A method for obtaining a composite material based on basalt with a copper filler by spark plasma sintering has been developed. It was found that the sample sintered at 1080 °C and a pressure of 3,8 kN has a crystalline structure with a uniform distribution of copper, high density and reflectivity, which makes it promising for artistic applications. In contrast, the sample obtained at 1300 °C without pressure has an amorphous structure and increased porosity. The research results have prospects for the application of this material in the artistic field, including the creation of mosaics, decorative panels, as well as use in jewelry.

Keywords: composite material, basalt, basalt-based composite

For citation: Didenko A.E., Andreev V.V., Chashchin A.A., Karabtsov A.A., Ushkova M.A., Shichalin O.O., Belov A.A., Kolodeznikov E.S. Method of obtaining composite material based on basalt for its use in the art field. *Vestnik of the FEB RAS*. 2025;(5):116–125. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.7868/S3034530825050093>

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the Far East Geological Institute, FEB RAS.

Введение

В современном мире прикладного искусства наблюдается постоянный поиск новых материалов и технологий, позволяющих расширить творческие возможности [1]. Особое внимание уделяется разработке композиционных материалов, сочетающих в себе уникальные свойства основного компонента с армирующими добавками [2, 3].

Композиционные материалы на основе базальтового сырья представляют собой новое направление в художественной сфере. Их применение открывает широкие возможности для изготовления уникальных художественных изделий и разработки новых дизайнерских решений. Такие материалы могут использоваться для создания как скульптур, так и декоративных элементов интерьера [4].

Базальт обладает рядом характеристик: высокой прочностью, устойчивостью к механическим воздействиям и долговечностью. Эти свойства делают его перспективным материалом для использования в различных областях, включая художественную индустрию [5, 6].

Актуальность данного направления обусловлена тем, что получение композиционного материала на основе базальта с применением металлов в качестве наполнителя для изготовления художественных изделий не имеет аналогов как в отечественной, так и в зарубежной практике. Дополнительную значимость придает использование местного сырья – базальта из месторождений Приморского края России.

В данной статье описан способ получения композиционного материала на основе базальта методом искрового плазменного спекания. Этот метод позволяет достичь высокой плотности материала при относительно низких температурах по отношению к температуре плавления.

Перспективы применения данного материала в художественной сфере включают создание мозаики, декоративных панелей, а также использование в ювелирном деле. Внимание уделяется возможности создания текстурированных поверхностей и разнообразных цветовых решений путем добавления пигментов.

Целью данной работы является разработка способа получения композиционного материала на основе базальта методом искрового плазменного спекания для применения его в художественной сфере.

Материалы и методы эксперимента

В качестве основы композиционного материала был использован базальтовый порошок, армирующими добавками выступала медь в виде стружки и пудры. Марка используемой медной стружки – ПМР, размер частиц – 2 мм [7]. Марка медной пудры – ПМС-1, размер частиц – 10–15 мкм.

Месторождение используемого базальта находится в Приморском крае (Шкотовское плато, ручей Горбатый) (рис. 1). Площадь Шкотовского плато около 3,5 тыс. км², больший объем вулканических пород представляют массивные базальтовые и андезитобазальтовые лавы, сложенные плагиоклазом, авгитом, ортопироксеном от гиперстенового до энстатитового состава, рудными минералами, иногда оливином [8].

Базальтовый порошок был получен в два этапа. На первом этапе применялась щековая дробилка Fritsch Pulverisette 1 (Германия), которая позволила получить крупнофракционный материал с размером частиц 5 мм. Дальнейшее измельчение материала проводилось на

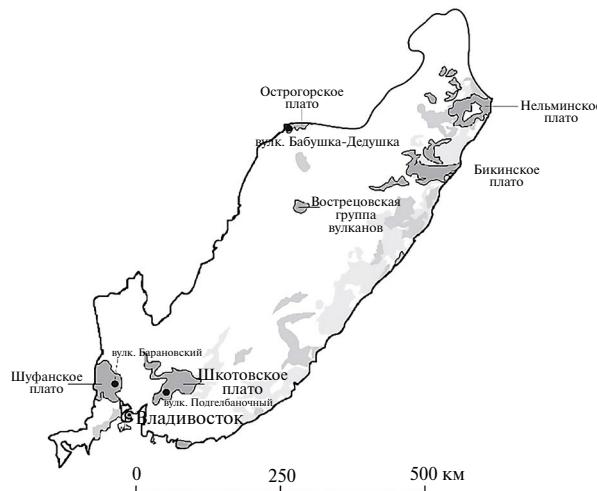


Рис. 1. Схема распространения позднекайнозойских базальтов на территории Приморского края [9]

дисковой мельнице Fritsch Pulverisette 13 (Германия), которая обеспечила получение более мелкодисперсной фракции базальта, средний размер частиц составил 0,5 мм.

Измельченный базальт замешивали с армирующими компонентами в графитовых тиглях, в соотношении 3:1, где три весовые части – базальтовое сырье и одна весовая часть – армирующий материал. Смешивание компонентов осуществлялось ручным способом. Были подготовлены две шихты.

Синтез композита проводился методом искрового плазменного спекания (ИПС) шихты на устройстве SPS-515S (Dr. Sinter LAB TM, Япония). Порошок помещали в графитовые формы (рабочий диаметр 15 и 20 мм), затем заготовку переносили в вакуумную камеру (10^{-5} атм.) и спекали.

Были получены образцы при температурах спекания 1080 и 1300 °С при скорости нагрева 100 °С/мин, при постоянной нагрузке 3,8 кН для первого образца и без давления – для второго. Геометрические размеры полученных образцов цилиндрических матриц композитов: диаметр – 15 мм для образца № 2 и 20 мм для образца № 1; толщина – 10 (образец № 2) и 15 мм (образец № 1). Выбор толщины обусловлен типом графитовой формы (ее диаметром), а также режимом спекания (давлением и температурой).

Химический состав базальта определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с помощью сканирующего спектрометра Bruker S4 Pioneer (Германия). Химический состав базальта (мас. %):

SiO ₂	49,7	CaO	7,94
TiO ₂	2,31	Na ₂ O	3,33
Al ₂ O ₃	16,13	K ₂ O	2,26
Fe ₂ O ₃	4,27	H ₂ O	0,09
FeO	7,05	п.п.п.	0,56
MnO	0,14	Σ	99,69
MgO	5,10		

Фазовый состав исходного базальтового сырья и спеченных образцов определяли методом рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре Rigaku Mini Flex II (Япония). Анализ дифрактограмм проводили с помощью программы Rigaku PDXL. Поверхность образца № 1 исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе JEOL JSM-6000plus (Япония). Распределение микрочастиц в объеме матрицы композита определяли методом рентгеновской микротомографии с помощью томографа Bruker SkyScan 1272 (Бельгия). Фотографии исследуемых композиционных материалов получены с помощью фотоаппарата Nikon Coolpix 4500 (Япония).

Результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ исходного базальтового сырья демонстрирует кристаллическую структуру, которая включает плагиоклазы и пироксены. На рис. 2 представлена дифрактограмма исходного базальта. Данные рентгенофазового анализа образца № 1 приведены на рис. 3.

Расшифровка дифрактограммы образца № 1 свидетельствует о том, что кристаллизационные процессы прошли до конца. Данный образец имеет следующий фазовый состав: полевой шпат, авгит и медь, которая является армирующим компонентом.

Дифрактограмма образца № 2 представлена на рис. 4. Данные рентгенофазового анализа образца № 2 показали наличие аморфной фазы, что связано прежде всего со скоростью охлаждения, не способствующей началу процесса кристаллизации.

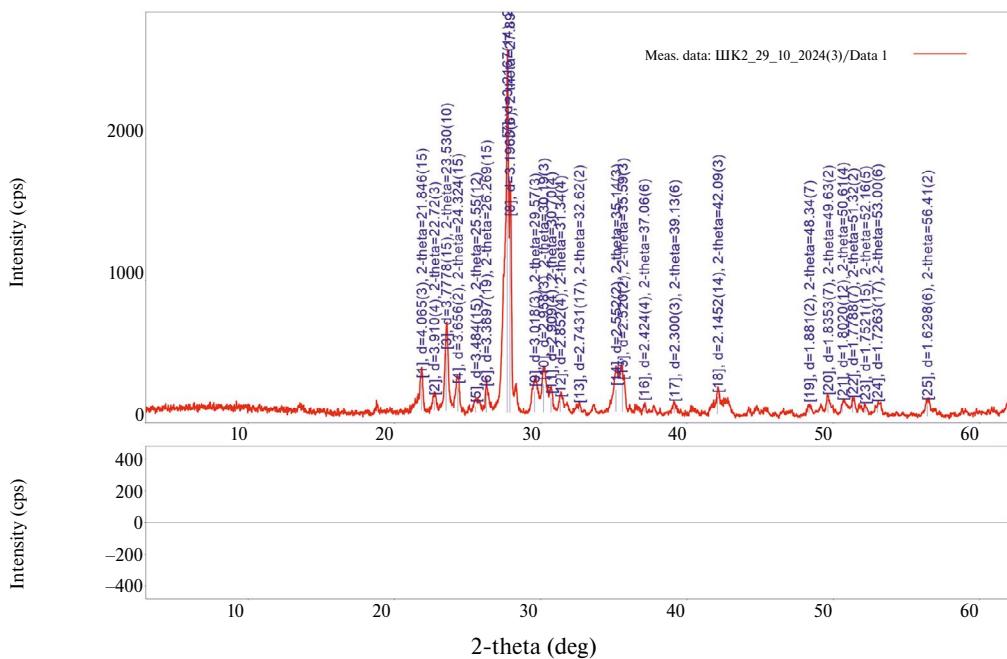


Рис. 2. Дифрактограмма исходного базальтового сырья

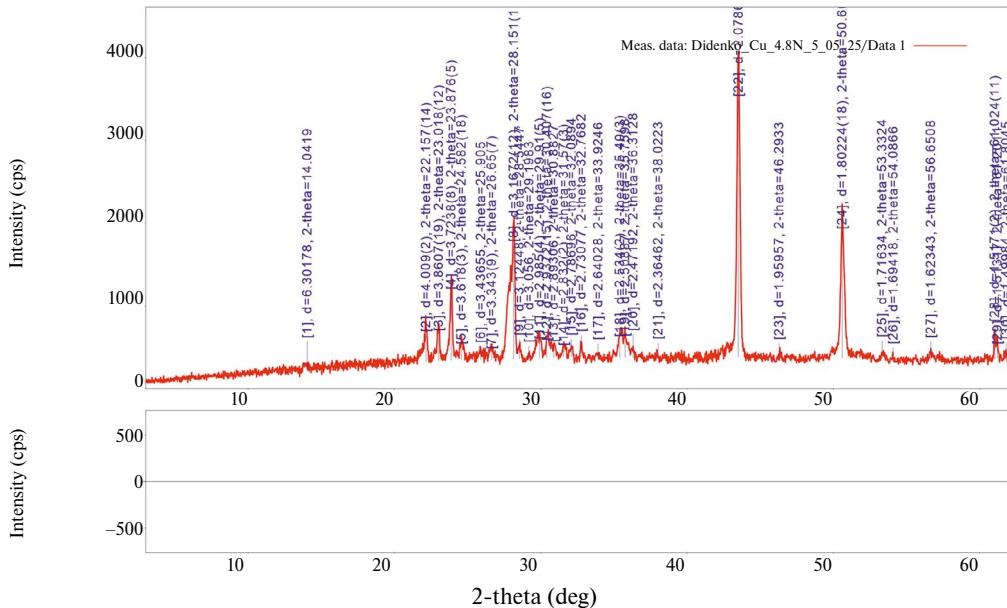


Рис. 3. Дифрактограмма образца № 1

На рис. 5 представлены снимки поверхности образца, полученные методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JEOL JSM-6000plus. Анализ снимков показывает равномерное распределение медной пудры по всей поверхности образца, а крупные включения, которые хорошо видны в режиме обратно отраженных электронов (подсвечены белым цветом), являются медной стружкой. Помимо меди в структуре присутствуют кристаллы плагиоклаза и пироксена, что было определено с помощью энерго-

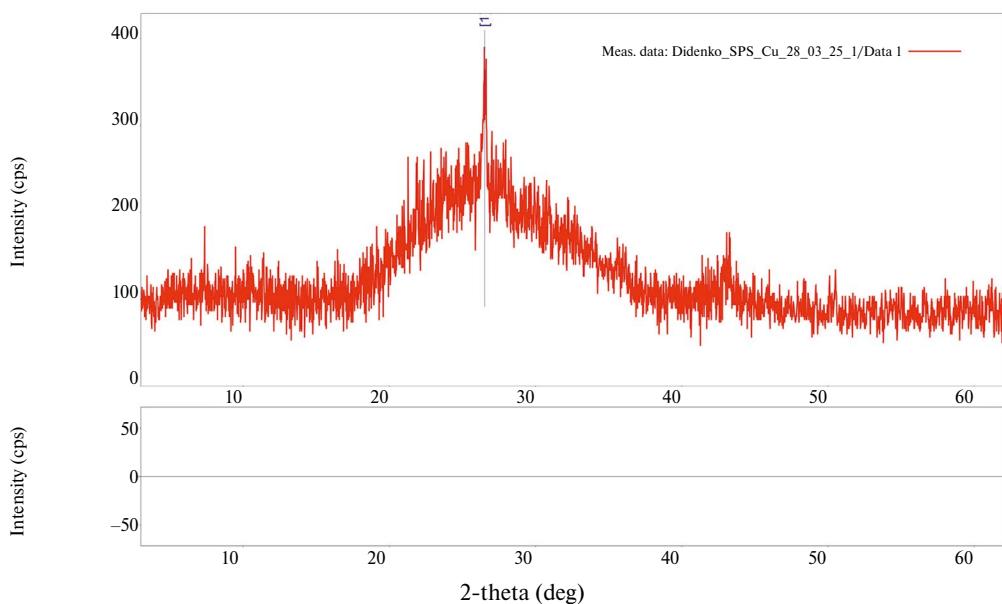


Рис. 4. Дифрактограмма образца № 2

дисперсионной спектроскопии (см. рис. 5, *b*, где точка 001 – плагиоклаз, точка 002 – медь, точки 003, 004 – пироксены).

На томографе Bruker SkyScan 1272 методом рентгеновской микротомографии выявлено распределение частиц в объеме полученных композиционных материалов. На рис. 6 представлены снимки распределения частиц в объеме матриц композитов. Исходя из анализа рентгеновской плотности образца установлено, что светлые включения являются медью.

Образец № 1, спеченный при температуре 1080 °C и давлении 3,8 кН, представлен на рис. 6, *b*. Данный образец имеет явное неравномерное распределение меди в объеме матрицы, основное распределение частиц меди находится в центре образца. На рис. 6, *a* приведен образец № 2, спеченный при температуре 1300 °C, без давления. Томография образца № 2 демонстрирует более равномерное распределение частиц меди по всему объему матрицы композита.

Для оценки эстетических свойств и определения возможности дальнейшего применения полученных композитов в художественной сфере приведены фотографии, представленные на рис. 7.

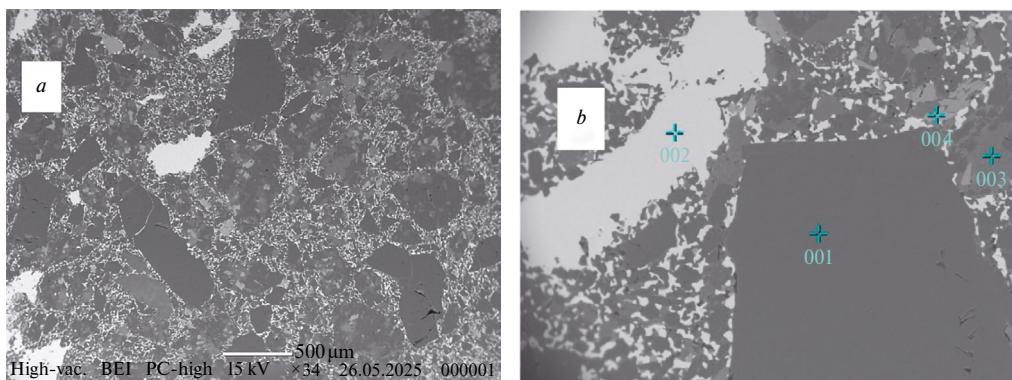


Рис. 5. Снимки (СЭМ) образца № 1: *a* – общая структура, $\times 34$; *b* – фрагмент общей структуры с точками энергодисперсионной спектроскопии, $\times 200$

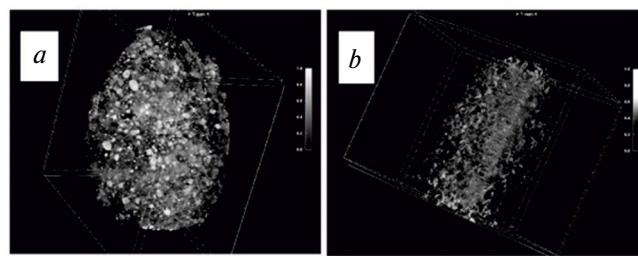


Рис. 6. Снимки (рентгеновская томография) распределения частиц в объеме матриц композитов: *a* – образец № 2; *b* – образец № 1

У образца № 1 матрица черного цвета, но благодаря медной пудре поверхность имеет оранжевый цвет. Поверхность образца обладает хорошей отражательной способностью. Крупные включения меди добавляют переливы, которые хорошо сочетаются с матрицей композита. Образец № 1, спеченный под давлением, имеет гладкую поверхность без пор и отлично поддается шлифовке и полировке.

Как видно на рис. 7 (образец № 2), полученный композит имеет матрицу черного цвета (базальт) с небольшим количеством вкраплений меди. Поверхность данного образца имеет слабую отражательную способность.

Образец № 2 – пористый, из-за чего при эксплуатации данного материала поверхность будет быстро загрязняться. Из-за высокой пористости операции шлифовки и полировки вызывают трудности.

Таким образом, оценка оптико-эстетических свойств получившихся образцов показывает, что наиболее подходящим вариантом является образец, который был спечен под давлением 3,8 кН и температуре 1080 °C.

Выводы

Проведенные исследования позволили разработать способ получения композиционного материала на основе базальта методом искрового плазменного спекания. Установлено, что применение давления 3,8 кН при температуре 1080 °C обеспечивает формирование плотной кристаллической структуры с равномерным распределением медного наполнителя, в то время как спекание при 1300 °C без давления приводит к образованию аморфной пористой структуры. Полученный оптимальным способом материал демонстрирует высокие эстетические характеристики, включая гладкую поверхность и выраженную отражательную способность, что определяет его перспективность для художественного применения. Результаты работы подтверждают возможность эффективного использования базальтового сырья Приморского края для создания функциональных композиционных материалов с заданными свойствами.

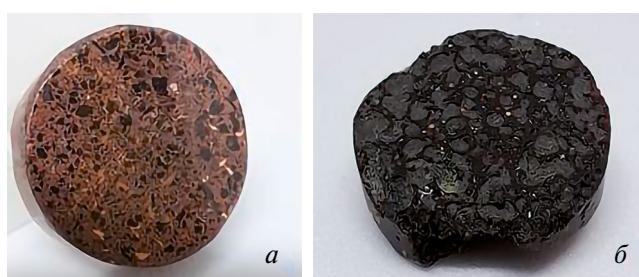


Рис. 7. Полученные композиты: *a* – образец № 1, *б* – образец № 2

Результаты исследований показывают перспективность использования базальта месторождений Приморского края для получения композиционных материалов с возможностью их дальнейшего применения в создании художественных изделий.

В то же время использование местного и практически неограниченного минерального сырья (базальт) способствует развитию региональной промышленности и снижению затрат на производство.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зябнева О.А., Иванова С.А. Применение полимерных композитов // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: материалы XI междунар. науч.-практ. конф. вузов России / СПбГУПТД. СПб.: СПбГУПТД, 2019. С. 315–318.
2. Айдаралиев Ж.К. и др. Разработка технологии получения гипсбазальтовых композитов // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2019. Т. 19, № 8. С. 102–105.
3. Пугин К.Г., Иванов Н.К. Применение композиционных материалов на основе базальта в приводных валах транспортно-технологических машин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 7. С. 463–468.
4. Диденко А.Е., Андреев В.В. Художественное применение базальта // Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы: материалы региональной науч.-практ. конф. молодых ученых (Владивосток, 16 декабря 2024 – 20 января 2025 г.) / под общ. ред. Р.А. Полькова. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2025. С. 477–480.
5. De Lima L.F., Zorzi J.E., Cruz R.C.D. Basaltic glass-ceramic: A short review // Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2022. Vol. 61, Iss. 1. P. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.07.005>
6. Musgraves J.D., Hu J., Calvez L. Springer Handbook of Glass. Cham: Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93728-1>
7. Медь в виде стружки 2 мм, марка ПМР, чистота 99% // Особо чистые вещества: Интернет-магазин по розничной продаже веществ, соединений и элементов с высокой чистотой [Электронный ресурс]. URL: <https://ochv.ru/magazin/product/med-v-vide-struzhki-2-mm-marka-pmr-chistota-99> (дата обращения: 05.07.2025).
8. Андреев В.В. Стеклокристаллические покрытия на основе базальтов Приморского края / автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владивосток: ДВГТУ, 2002. 24 с.
9. Андреев В.В. и др. Исследование технологии получения стеклокристаллических материалов на основе базальтов Приморского края // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2017. № 3 (32). С. 156–166.

REFERENCES

1. Zyabneva O.A., Ivanova S.A. Application of polymer composites. In: *Science and education in the field of technical aesthetics, design and technology of artistic processing of materials*. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conf. of Russian Universities. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 2019. P. 315–318. (In Russ.).
2. Aidaraliev J.K. et al. Development of technology for the production of gypsum-basalt composites. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2019;19(8):102–105 (In Russ.).
3. Pugin K.G., Ivanov N.K. The use of basalt-based composite materials in the drive shafts of transport and technological machines. *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2024;(7):463–468. (In Russ.).
4. Didenko A.E., Andreev V.V. Artistic application of basalt. In: *Science, technology, industrial production: history, current state, prospects*. Materials of regional science-practical conference of young scientists (Vladivostok, December 16, 2024 – January 20, 2025). Vladivostok: FEFU; 2025. P. 477–480. (In Russ.).
5. De Lima L.F., Zorzi J.E., Cruz R.C.D. Basaltic glass-ceramic: A short review. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2022;61(1):2–12. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.07.005>
6. Musgraves J.D., Hu J., Calvez L. Springer Handbook of Glass. Cham: Springer; 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93728-1>

7. Copper in the form of chips of 2 mm, grade PMR, purity 99% // High Purity Substances: Online retail store for high purity substances, compounds and elements (In Russ.). URL: <https://ochv.ru/magazin/product/med-v-vide-struzhki-2-mm-marka-pmr-chistota-99> (date of access: 05.07.2025).
8. Andreev V.V. Glass crystal coatings based on basalts of Primorsky Krai: abstract of the thesis of the candidate of technical Sciences. Vladivostok: DVG TU; 2002. 24 p. (In Russ.).
9. Andreev V.V. et al. The research in the technology for producing glass-crystalline materials based on basalts of Primorsky Krai. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2017;32(3):156–166. (In Russ.).