






Научная статья

УДК 553.2+691

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-574-582>

CC BY 4.0

Пригодность базальтового сырья Кыргызской Республики для производства супертонких и непрерывных волокон

Акымбек Абдыкалыков¹ , Жанболот Качкынбаевич Айдаралиев^{1*} , Жыпаргул Абдыкалык кызы² ,
Алтынбек Жалилбекович Кудуев² , Бурулча Рашид кызы¹ 

¹ Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

² Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: janlem@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Литературный анализ и патентный поиск выявили, что базальтовая порода и её волокно обладают высокими физико-техническими характеристиками и обширными запасами сырья. Исходя из этого, использование базальтовых пород и их волокон в качестве материала для разработки современных композиционных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками представляет собой перспективное направление. Разнообразные области техники и народного хозяйства, а также различные требования, предъявляемые к этим материалам, определяют многообразие систем, составов и свойств базальтов и их расплавов, применяемых для производства как супертонких, так и непрерывных волокон. **Методы и материалы.** Исследованы химический и минералогический составы некоторых базальтовых пород месторождений Кыргызской Республики для определения их пригодности для производства супертонких волокон и непрерывных волокон. Расчетным путем определены модуль кислотности и модуль плавкости по химическому составу базальтов Кыргызской Республики. Среди них качество базальтов Сулуу-Терекского месторождения и базальтов месторождения Тору-Айгыр полностью соответствует требованию к качеству сырья для создания производства базальтовых супертонких волокон (БСТВ) и базальтовых непрерывных волокон (БНВ). В исследовании применялись методы физико-химического анализа с целью определения химического и минералогического состава базальта. Путем расчетов модуля кислотности и плавкости базальтового сырья Кыргызской Республики, а также сопоставления с соответствующими стандартами была установлена их пригодность для производства базальтового супертонкого волокна (БСТВ) и базальтового непрерывного волокна (БНВ). Объектом исследования выступили базальты месторождения Сулуу-Терек. **Результаты** исследования включают в себя анализ химического и минералогического составов некоторых базальтовых пород месторождений Кыргызской Республики с целью оценки их пригодности для производства супертонких и непрерывных волокон. Расчетным методом определены модуль кислотности и модуль плавкости базальтов Кыргызской Республики. Среди них выявлено, что качество базальтов Сулуу-Терекского месторождения и базальтов месторождения Тору-Айгыр полностью соответствует требованиям к качеству сырья для производства базальтовых супертонких волокон (БСТВ) и базальтовых непрерывных волокон (БНВ). **Заключение.** Подтверждена пригодность базальтовых пород из различных месторождений, особенно Сулуу-Терек, Талды-Булак и Кашка-Суу, с рекомендациями по использованию. Результаты также акцентируют важность соответствия стандартам при выборе месторождений и настройке параметров производства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: критерий пригодности сырья, горные породы, химико-минералогический состав, потери при прокаливании, модуль вязкости, модуль плавкости, температура верхнего предела кристаллизации (ТВПК), базальтовое супертонкое волокно (БСТВ), базальтовые непрерывные волокна (БНВ).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Абдыкалыков А., Айдаралиев Ж.К., Абдыкалык кызы Ж., Кудуев А.Ж., Рашид кызы Б. Пригодность базальтового сырья Кыргызской Республики для производства супертонких и непрерывных волокон // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 6. С. 574–582. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-6-574-582>. – EDN: SNRTSV.

ВВЕДЕНИЕ

Для производства неорганических минеральных волокон, таких, как базальтовые волокна, широко используются различные горные породы, а также отходы от энергетической и горнорудной промышленности. В числе этих отходов выделяются золошлаковые и отходы обогащения руд [1, 2].

Для создания неорганических супертонких и непрерывных волокон из однокомпонентного сырья используют разнообразные горные породы, включая диабазы, базальты, андезито-базальты, габбро-базальты, долериты, амфиболиты и др. [3–10].

Причины, по которым базальтовые породы считаются предпочтительными, связаны с их химическим и минералогическим составом. Базальтовые породы богаты минералами, такими как плагиоклаз, пироксен и оливин, которые обеспечивают хорошие механические и термические характеристики волокон.

Минеральный и химический составы базальтовых пород для технологии получения неорганических волокон являются важными показателями, так как каждое месторождение имеет определенный минеральный и химический состав в пределах магматического происхождения. В связи с чем в качестве сырья для производства базальтовых волокон используются различные месторождения горных пород земной коры [3–13].

На основе результатов экспериментально-теоретического исследования горных пород авторы работ [11–13] выделяют следующие ключевые аспекты:

- В предварительной оценке использования горных пород в производстве базальтовых волокон применяется расчет модуля кислотности и вязкости, который основан на химическом составе пород;
- Критериями пригодности сырья, влияющими на возможность использования сырья для производства базальтовых волокон, являются поверхностное натяжение расплава, вязкость и ее температурная зависимость, кристаллизационная и смачивающая способности, определяющие нижнюю и верхнюю границы температурного интервала выработки волокон, указанные характеристики определяют нижние и верхние границы температурного интервала, в пределах которого происходит производство базальтовых штапельных и непрерывных волокон.

В производстве супертонких волокон важным критерием является качество используемого сырья, которое характеризуется следующими показателями: химико-минералогическим составом и размером кусков и зерен минералов. Для получения мелкой крошки сырья применяют горные породы, которые должны обладать необходимой прочностью и твер-

достью для формирования кусков сырья размером 5–40 мм.

Значительное распространение этих горных пород на территории Кыргызской Республики выражается в наличии приблизительно 240 месторождений и проявлений диабазов, базальтов и базальтовых порфиринов [12].

Залежи диабазов, базальтов и базальтовых порфиринов разведаны в пределах таких хребтов, как Кыргызское, Кунгей-Ала-Тоо, Тасакемин, Терсей, Жетим-Тоо, Атбашы, Алай и Атойнок. Известны проявления базальтов в пределах хребтов Джумгал, Таласс, Каптакас, Чаткал, Каракатты, Суусамыр, Джумгал, Ферганский, Восточноалайский, Туркестанский и Молдотто, а также в горах Улугтоо [13].

В настоящее время из горных пород производят различные типы волокон, классифицируемые по диаметру (в микрометрах) и длине. Разновидности волокон включают микротонкие (до 0,5 мкм), ультратонкие (от 0,5 до 1 мкм), супертонкие (от 1 до 3 мкм), тонкие (от 9 до 15 мкм), утолщенные (от 15 до 25 мкм), толстые (от 25 до 150 мкм) и грубые (от 150 до 500 мкм).

В зависимости от длины волокна они делятся на непрерывные, достигающие длины 30 и более километров, и дискретные (штапельные), имеющие длину от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Каждый тип волокон применяется для различных целей в зависимости от их диаметра.

Супертонкое волокно находит применение в различных областях промышленности благодаря своим уникальным свойствам. Оно используется для производства разнообразных изделий, включая прошивные материалы для теплоизоляции и звукопоглощения, картона, многослойного нетканого материала, теплоизоляционного вязально-прошивного материала, длинномерных теплоизоляционных полос и жгутов, мягких теплоизоляционных гидрофобизированных плит, фильтров, а также материала для искусственного грунта в гидропонике для выращивания овощей.

Эти продукты широко используются в различных отраслях, таких как строительство, авиа- и судостроение, металлургия, медицина, сельское хозяйство, а также в других областях промышленности [11–26].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Производство волокна из базальта в индустрии предъявляет разнообразные требования к сырью, обусловленные разнообразием производимой продукции. Особое внимание уделяется химическому составу сырья, содержанию основного вещества, уровню вредных и балластных примесей, а также однородности состава.

Сырье для производства волокна из базальта представлено дроблеными, средними и метаморфизированными ультраосновными горными породами вулканического происхождения, включая базальты, амфиболиты, диабазы и порфириды.

Размеры фракций сырья должны соответствовать от 3 до 70 мм.

При анализе химического состава сырья, предназначенного для производства различных видов волокон, учитывается содержание следующих основных оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 .

В данном исследовании химический состав базальтовой породы, базальтового расплава и его отходов был изучен при помощи методов титриметрии, спектроскопии, фотоэлектроколориметрии и гравиметрии [27–31].

Потери при прокаливании не должны превышать 5% от общей массы. Сырье должно быть лишено посторонних примесей, таких как: металлические предметы, кварц, песчано-глинистые и другие породы, отличающиеся по химическому составу.

Оценка вещественного состава и качественных показателей проводится в соответствии с нижеперечисленными стандартами [32, 33]:

ТУ-21-УССР -410-86 «Сырье из горных пород для производства штапельных супертонких волокон»;

РСТ УССР -5020-80 «Сырье из горных пород для производства штапельных волокон»;

ТУ-21-137-84 «Сырье из горных пород для производства непрерывного волокна».

Оценка технологических свойств осуществляется в соответствии с ТУ-234-023-20357632-97 «Холст из супертонкого базальтового волокна».

Для производства минерального волокна в качестве сырья используются базальты, в которых содержание окислов железа не превышает 10–18%, а соотношение сумм кислых окислов к плавням ($\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O}$) должны быть не менее 2.

Соответствие кислых окисей основным (модуль кислотности) рассчитано по формуле:

$$M_{\text{кл}} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}} \quad (1)$$

где SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 и др. – массовое содержание оксидов, %.

Модуль кислотности варьируется от 1,9 до 2,7 в различных месторождениях, среднее значение составляет 2,3. Минимальное значение модуля кислотности превосходит стандартный показатель почти на порядок (0,72%).

Важным аспектом при получении расплавов горных пород является скорость плавления, которая зависит от сложных процессов, приводя-

щих к формированию гомогенной стекломассы, избавленной от пузырьков. Скорость плавления оценивается через температурный интервал и продолжительность плавления, представляя собой функцию отношения тугоплавких оксидов к более легкоплавким. Для горных пород постоянная плавкости $\Pi_{\text{пл}}$ выражается следующим образом – имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{пл}} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}}{\text{MgO} + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}, \quad (2)$$

где SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 и др. – массовое содержание оксидов, %.

Из формулы следует, что, чем меньше значение данной постоянной, тем легче горная порода поддается плавлению.

Критерии пригодности минералов для получения волокон определяются требованиями к минералогическому и химическому составам горных пород, условиям плавкости и свойствам их расплавов (табл. 1).

Минералогический состав базальтового сырья был изучен с использованием петрографического анализа. Фотоснимки (при увеличении $\times 40$) получены с использованием поляризационного микроскопа «Nikon» серии Optiphot2-pol (Япония).

Петрографический анализ основан на применении поляризованного света и проводится с использованием микроскопа «Nikon» серии Optiphot2-pol. Анализ включает изучение шлифов – специально приготовленных препаратов. Шлиф представляет собой тонкий срез в форме пластинки из горной породы толщиной около 0,03 мм, закрепленный на стекле при помощи специального клея, такого, как канадский бальзам. Этот метод анализа дает детальное представление о минеральном составе и структуре базальтовых пород и базальтового расплава [8–10, 14].

Определение потерь массы в породах определяли при проведении химического анализа термогравиметрических исследований (до 1000°C), а также при 1300 и 1450°C при получении расплавов [34].

Получение стекла проводилось в лабораторных условиях в платиновых стаканах. Навеска породы составляла около 300 г. В интервале температур 1170–1350°C наблюдалось плавление горных пород и интенсивное выделение газов, приводящее к обильному вспениванию расплава. Особенно характерно это для пробы 371 (базальт миндалекаменный), за счет выделения CO_2 при разложении CaCO_3 . Учитывая малый объем платиновых стаканов (500 мл), для получения гомогенного расплава требовалось длительное время (до 16 часов).

Вязкость расплавов исследуемых горных пород определяли на усовершенствованном вискозиметре Маргулеса–Воляровича с рабочими поверхностями

ми типа «цилиндр–цилиндр». В точках измерения вязкости расплав изотермически выдерживался в течение 30 минут для установления температурного равновесия. Метод измерения вязкости является относительным. В качестве градуировочных веществ нами используется полиметилсилоксан ПМС-500, ПМС-700, ПМС-1000 (диапазон вязкостей 5–10 пауз) и стекло К-15 для градуировки вискозиметров (ГОСТ 3-3593-77, диапазон вязкостей 50–2000 пауз). Ошибка измерения вязкости не превышает 7% [35]

Температуру верхнего предела кристаллизации (ТВПК) находили с помощью метода закалки (образцы изотермически выдерживали при заданной температуре в течение двух часов, а затем резко охлаждали). Наличие кристаллической фазы в полученных с помощью этого метода образцах стекол определяли оптическим методом (под микроскопом МБИ-6 при 750-кратном увеличении в проходящем свете) и методом рентгенофазного анализа [35].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований химического состава базальтов, добываемых на месторождениях Сулуу-Терек, Талды-Булак и Кашка-Суу, представлены в табл. 1.

Химический анализ указывает на то, что исследованные породы принадлежат к категории маложелезистых основных изверженных пород. Это подтверждается содержанием SiO_2 , которое в основном

находится в пределах от 40% до 50%, и отсутствием превышения содержания окиси железа в пределах 18%. Наблюдаемые колебания в химическом составе исследованных образцов минимальны, что создает благоприятные условия для обеспечения стабильности характеристик сырья в процессе производства минеральной ваты.

Для получения разнообразных видов волокон в качестве однокомпонентного сырья были выбраны базальты с различным содержанием компонентов (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что исследованные породы по химическому составу соответствуют маложелезистым изверженным породам, так как содержание окислов железа не превышает 18%, а содержание SiO_2 в основном не превышает 50%. Среднее содержание плавней составляет 20%, что соответствует установленным техническим условиям в пределах (15–25%).

Базальт из месторождения Кашка-Суу характеризуется повышенной кислотностью. Однако введение простых корректирующих добавок, таких как известняк, позволяет снизить модуль кислотности, обеспечивая получение расплава с оптимальными физико-химическими свойствами.

Сравнивая содержание окислов в базальтах месторождений Талды-Булак и Кашка-Суу с базальтом месторождения Сулуу-Терек (табл. 2), можно отметить повышенные значения оксидов кремния и пониженные значения оксидов кальция в первых двух месторождениях.

Таблица 1

Требования по химическому составу горных пород для производства различного вида волокон

Наименование компонентов	Требования к качеству сырья, (Массовое доля, %)			
	Грубые	Непрерывные	Тонкие штапельные	Супертонкие штапельные
SiO_2	48,0–53,2	47,5–55,0	43–51,0	46,0–52,0
TiO_2	0,5–2,0	0,2–2,0	0,2–3,0	0,5–2,5
Al_2O_3	13,0–18,0	14,0–20,0	10,0–17,0	13,0–18,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	8,0–15,0	7,0–13,5	10,0–18,0	8,0–15,0
CaO	6,5–11,0	7,0–1,5	10,0–18,0	8,0–15,0
MgO	3,0–10,0	3,0–8,5	4,0–15,0	3,5–10,0
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	2,0–7,5	2,5–7,5	2,0–5,0	2,0–10,0
MnO, не более	0,5	0,25	0,4	0,5
SO_3 , не более	1,0	0,2	1,0	0,5
Потери массы при прокаливании (п.п.п.), не более	5,0	5,0	5,0	5,0
Свободного кварца, не более	3,0	2,0	3,0	3,0
Модуль вязкости, Мв	1,9–2,5	2,3–2,7	1,7–2,0	1,8–2,4

Таблица 2

Химический состав базальтовых пород для производства супертонких волокон

Наименование компонентов	Базальт, массовое доля, %			
	Требования к химическому составу для супертонких волокон	Сулу-Терек	Талды-Булак	Кашка-Суу
SiO ₂	46,0–52,0	45,00	48,27	48,85
TiO ₂	0,5–2,5	2,00	1,75	1,98
Al ₂ O ₃	13,0–18,0	14,00	13,98	15,72
Fe ₂ O ₃ +FeO	8,0–15,0	12,94	15,28	10,55
CaO	8,0–15,0	11,0	9,49	7,28
MgO	3,5–10,0	4,0	5,32	5,14
Na ₂ O + K ₂ O	2,0–10,0	4	4,45	4,41
MnO, не более	0,5	–	–	–
Серы, SO ₃ , не более	0,5	–	0,42	0,87
Потери массы при прокаливании (п.п.п.), не более	5,0	5,0	–	5,2
Свободного кварца, не более	3,0	1,6	–	–
P ₂ O ₅	–	–	–	–
%	100	100	100	100
Модуль кислотности, M _{кл}	1,8–2,4	1,90	1,85	2,41
Модуль плавкости, П _{пл}	< 4,5	3,89	4,11	4,58

Химические составы и процентное содержание компонентов базальтов из месторождений Таш-Булак, Тору-Айгыр и Семизбель приведены в табл. 3

Исходя из представленных данных в табл. 3, можно заключить, что химический состав месторождения Тору-Айгыр полностью удовлетворяет требованиям к качеству однокомпонентного сырья. Однако остальные базальтовые месторождения (Таш-Булак, Семизбель) требуют дополнительного введения компонентов для соответствия указанным стандартам, что можно предварительно рассчитать через подшихтование.

Базальт из месторождения Сулуу-Терек полностью удовлетворяет требованиям к минералогическому составу, необходимому для производства супертонких волокон. Однако для производства непрерывных волокон из данного базальта потребуются провести процесс подшихтования, как указано в табл. 4.

Исходя из геологического расположения базальтового слоя, базальтов месторождение Сулуу-Терек выделены три разновидности базальта (табл. 5):

1. Базальт скрытокристаллический темно-серого цвета с примазками карбоната.

2. Базальт мелкокристаллический до скрытокристаллического, в различной степени выветренный,

со средними и мелкими миндалинами, выполненными карбонатом.

3. Миндалекаменный базальт с миндалинами, выполненными карбонатом.

Результаты исследований вязкости и ТВПК приведены в табл. 6. Свойства расплава совпадают со свойствами базальтов Берестовецкого месторождения Украины, которые используются во всех вариантах. Судя по абсолютным значениям вязкости и ходу температурной зависимости можно сделать вывод о возможности использования базальтов Сулутерекского месторождения в качестве сырья для производства непрерывного и супертонкого волокна. Кроме того, миндалекаменные базальты, образующие менее вязкие расплавы, могут быть рекомендованы для получения волокон способом вертикального раздува воздухом (ВРВ).

Проведенным анализом было выявлено, что с целью обеспечения промышленного производства базальтовых супертонких волокон (БСТВ) рекомендуется использование однокомпонентного сырья без шихтования, преимущественно из базальтовых месторождений Сулуу-Терек и Тору-Айгыр.

Для других месторождений следует проводить расчет химического состава с учетом необходимых требований путем введения дополнительных ком-

Таблица 3

Химический состав горных пород для производства супертонких волокон

Наименование компонентов	Требования к качеству по химическому составу (Базальт, массовое доля, %)			
	Для получения супертонких штапельных волокон	Алевролитобазальт Ташбулак	Торуайгыр	Семизбель
SiO ₂	46,0–52,0	45,82	47,0	42,99
TiO ₂	0,5–2,5	1,99	1,91	1,72
Al ₂ O ₃	13,0–18,0	13,86	13,7	13,53
Fe ₂ O ₃ +FeO	8,0–15,0	11,82	10,18	12,54
CaO	8,0–15,0	9,57	13,40	9,89
MgO	3,5–10,0	7,89	3,68	11,23
(Na ₂ O +K ₂ O)	2,0–10,0	3,03	4,12	5,38
MnO, не более	0,5	0,18	0,10	
Серы, SO ₃ , не более	0,5	0,1	0,21	0,57
Потери массы при прокаливании (п.п.п.), не более	5,0	4,82	5,40–	2,16
Свободного кварца, не более	3,0	0,5	–	–
P ₂ O ₅	–	0,21	0,30	–
%		100	100	100
Модуль кислотности, М _{кл}	1,8–2,4	1,90	1,99	1,49
Модуль плавкости, П _{пл}	< 4.5	3,58	3,43	2,67

Таблица 4

Минералогическая пригодность базальтовых пород для производства базальтовых супертонких волокон (БСТВ) и базальтовых непрерывных волокон (БНВ)

Минералы	Требования к качеству сырья (Базальт, граничные содержания минералов, об. %)				
	Требования по минералогическому составу		Базальтовое месторождение		
	Для БСТВ	Для БНВ	Сулу-Терек	Талды-Булак	Кашка-Суу
Плагиоклаз	20–55	35–70	30	40	30
Пироксены	5–40	1–35	40	20	30
Рудные минералы	0–12	0–12	10	10	10
Оливины	0–15	0–15	–	30	30
Стекло природное	2–45	0–50	20	–	20
Кварц	0–2	0–2	–	–	–
Амфиболы	0–15	0–10	–	–	–
Биотит	0–3	0–3	–	–	1
Палагонит	0–20	0–25	–	–	–
Хлорит	0–35	0–35	–	–	–
Эпидотцоизит	0–15	0–5	–	–	–
Карбонат	0–10	0–8	–	–	–

Таблица 5

Химический состав базальтов Сулутерекского месторождения

№	Наименование	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	SO ₃	П.П.П.	Сумма
1	Базальт скрыто-кристаллический с примазками карбоната	46,83	1,79	16,82	2,09	7,73	10,54	5,33	2,57	1,52	0,24	0,05	3,68	99
2	Базальт мелкокристаллический до скрытокристаллического с редкими миндалинами	48,11	2,22	18,19	1,48	9,41	8,58	4,32	2,95	1,84	0,16	0,08	2,49	99,8
3	Базальт миндалекаменный	43,82	1,87	16,55	0,28	9,87	12,81	3,91	2,22	2,00	0,20	0,11	7,21	100,85

Таблица 6

Вязкость и ТВПК расплавов базальтов Сулутерекского месторождения

№ п/п	Наименование горных пород	Вязкость (П) при °С					ТВПК
		1450	1400	1350	1300	1250	
1	Базальт скрытокристаллический с примазками карбоната	55	96	165	303	580	1220
2	Базальт мелкокристаллический до скрытокристаллического с редкими минералами	73	125	206	383	715	1230
3	Базальт миндалекаменный	30	54	96	182	350	1190
	Базальт Берестовецкий (Украина)	36	62	106	190	354	1275

понентов. Технологические параметры базальтов с месторождения Сулуу-Терек рекомендуется использовать для производства непрерывных базальтовых волокон (БНВ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предоставлены технические стандарты качества сырья и определены методы исследования, направленные на оценку пригодности базальтового сырья. Исследованы физико-химические и технологические характеристики магматических пород Кыргызской Республики используемых в производстве супертонких волокон. Получены общие характеристики основных магматических пород на территории страны. Представлены физико-химические и технологи-

ческие параметры магматических пород Кыргызской Республики, сделан выбор месторождений сырья для производства супертонких и непрерывных волокон. Выбраны технологические параметры для производства супертонких и непрерывных волокон базальта из месторождения Сулуу-Терек.

Исследования химического состава базальтовых пород на месторождениях Сулуу-Терек, Талды-Булак и Кашка-Суу подтвердили их пригодность для производства супертонких волокон. Рекомендуется использовать базальты из месторождений Сулуу-Терек и Тору-Айгыр без шихтования для производства базальтовых супертонких волокон. Для других месторождений предлагается внести дополнительные компоненты, чтобы соответствовать требованиям стандартов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богатиков О.А. Магматические горные породы. М.: Наука, 1985. 488 с.
2. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / М.А. Афанасьева, Н.Ю. Бардина, О.А. Богатиков, И.И. Вешневская, В.Н. Гаврилова, М.Н. Гурова, В.И. Коваленко, Н.Н. Кононкова, Л.Н. Липчанская, В.Б. Наумов, В.С. Попов, В.И. Чернов, Е.В. Шарков, Б.П. Юргенсон, В.В. Ярмолюк. М.: Логос, 2001. 768 с.
3. Татаринцева О.С., Ходакова Н.Н. Оценка возможности использования горных пород Сибири и Дальнего Востока в производстве базальтовых волокон. / О.С. Татаринцева, Н.Н. Ходакова // Базальтовые технологии. 2021. № 1. С. 15–18.
4. Габбро-базальтовое сырье для производства базальтового волокна / под ред. Э.А. Раскиной, А.Н. Земцова. М.; Пермь: ВНИИЭСИ, 2003. Сер.6: Пром-сть строит. материалов. Вып. 1/2. 96 с.
5. Буянтуев С.Л., Нин Гун Лин К вопросу изучения состава и свойств базальта Далянского месторождения (КНР) для получения расплава электродуговым способом с выработкой волокна // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Химия-Физика. 2017. Вып. 2/3. С. 1–9.
6. Базальтоволокнистые материалы: аналит. обзор / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова, Сергеев В.П. М.: ВНИИЭСМ, 1989. Сер. 6, вып. 3. 67 с.
7. Махова М.Ф., Мищенко Е.С., Иванов И.Н., Кривонос В.П., Бочков А.А. Новая сырьевая база для производства супертонких волокон // Разведка и охрана недр. 1986. № 4. С. 20–23.
8. Мясников А.А., Асланова М.С. Выбор составов базальтовых пород для получения волокон различного назначения // Стекло и керамика. 1965. № 3. С. 12–15.
9. Татаринцева О.С., Асланова М.С. Оценка возможности использования горных пород Сибири и Дальнего Востока в производстве базальтовых волокон // Базальтовые технологии. 2021. № 1. С. 15–18.
10. Чернов В.П., Игнатова А.М. Минералого-петрографическая характеристика вторичных техногенных металлографических ресурсов Урала и Предуралья для их переработки петрургией // Фундамент. исслед. 2012. № 11. С. 670–674.
11. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002. 416 с.
12. Ормонбеков Т.О. Технология базальтовых волокон и изделия на их основе. Бишкек: Технология, 1997. 122 с.
13. Ормонбеков Т.О. Техника и технология производства базальтовых волокон. Бишкек: Илим, 2005. 152 с.
14. Минералогические фазы, образующиеся при кристаллизации расплавленных магматических горных пород / Ж.К. Айдаралиев, Ю.Х. Исманов, А.Т. Кайназаров, Абдиев М.С., Атырова Р.С. // Международный журн. прикладных и фундамент. исслед. 2019. № 2. С. 7–11.
15. Супертонкие волокна на основе алевролита и базальта, добываемых в Кыргызстане / Ж.К. Айдаралиев, А.Т. Кайназаров, Ю.Х. Исманов, Абдиев М.С., Атырова Р.С., Сопубеков Н.А. // Международный журн. прикладных и фундамент. исслед. 2019. № 5. С. 109–114.
16. Разработка технологии получения гипсо-базальтовых композитов / Ж.К. Айдаралиев, А.Т. Кайназаров, М.С. Абдиев, Н.А. Сопубеков // Вестник КРСУ. Бишкек. 2019. Т. 19, № 8. С. 102–105.
17. Минько Н.И., Морозова И.И., Павленко Т.Л. Стекловолокно для армирования цементных изделий // Стекло и керамика. 1998. № 7. С. 3–7.
18. Мороз С.А. Применение толстого базальтового волокна в дорожном цементобетоне // Строительные материалы и конструкции. 1987. № 4. С. 22.
19. Базальтопластиковая арматура для конструкции гидротехнического назначения / Р.Н. Мухаметшин, Г.М. Додис, М.А. Соколинская, О.В. Тутаков. Бишкек: Кыргызстан, 1993. 138 с.
20. Развитие технологий и оборудования, промышленных производств и сбыта // Композитный мир. 2015. № 2. С. 24–29.
21. Армирование неорганических веществ минеральными волокнами / А.А. Пашенко, В.П. Сербин, А.П. Пасловская, В.В. Глуховский, Ю.Л. Бирюкович, А.Б. Солодовник. М.: Стройиздат, 1988. 200 с.
22. Тростянская Е.Б., Соколинская М.Л., Шадчика М., Мийченко И.П. Свойства имидо- и фенобазальтопластов // Пластические массы. 1987. № 1. С. 28–29.
23. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. М.: МГУ им М.В. Ломоносова, 2015. 220 с.
24. Тутаков О.В., Божко В.И. Плетельные ленты из базальтового волокна // Строительные материалы и конструкции. 1986. № 4. С. 14.

25. Уваров А.С. Технология изготовления базальтового волокна и изделий на его основе // Строит. материалы. 1998. № 5. С. 4–6.
26. Харитон Я.Г., Писаренко Г.В. Базальтовые волокна – армирующий материал // Строительные материалы и конструкции. 1982. № 2. С. 22–23.
27. Артоманова М.В., Рубахин А.И., Савельев В.Г. Практикум по общей технологии силикатов. М.: Стройиздат, 1996. 278 с.
28. Брандон Дж., Каплан У. Микроструктура материалов: методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. 384 с.
29. Жарский И.Н., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии. М.: Высш. шк., 1998. 271 с.
30. Коростелев П.П. Химический анализ в металлургии. М.: Металлургия, 1988. 383 с.
31. Перевозчиков Б.В. Методологические подходы к выбору базитового сырья для получения высококачественного базальтового волокна // Базальтовые технологии. 2012. Октябрь–декабрь. С. 12–14.
32. ТУ В.2.7.88.023.025.-96. Холсты из микро-, ультра-, супертонких и стекломикроструктурированных стеклянных штапельных волокон из горных пород. Технические условия (41589) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dnaop.com/html/41589/doc%D0%A2%D0%A3_%D0%A3_%D0%92.2.7-88.023.025-96
33. ТУ 576940-024-5042022414-01. Плиты негорючие термостойкие на основе базальтового сырья. Технические условия. Введ. 01.05.2001.
34. Бородаев Ю.С., Еремин Н.И., Меньников Ф.П. Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. М.: Изд-во МГУ, 1988. 296 с.
35. Дубровский В.А., Махова М.Ф., Первеева Л.А. Методика определения температуры нижнего предела кристаллизации стекол с помощью дериватографа // Методы исследования технологических свойств стекла. М. 1970. С. 40–43.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдыкалыков Акымбек – доктор технических наук, профессор, советник ректора, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, abdykalykov.57@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7260-8738>

Айдаралиев Жанболот Качкынбаевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры физики, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, janlem@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1100-3237>

Абдыкалык кызы Жыпаргул – старший преподаватель кафедры экономики и налогов, Ошский государственный университет, Ош, Кыргызская Республика, gold_chingiz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4958-1240>

Кудуев Алтынбек Жалилбекович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы и цифровые технологии», Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, altynbek_kuduev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3345-1364>

Рашид кызы Бурулча – преподаватель кафедры «Прикладной информатики и информационной безопасности», Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, burulcha9090@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7785-6861>

ВКЛАД АВТОРОВ

Абдыкалыков Акымбек – научное руководство, концепция исследования.

Айдаралиев Жанболот Качкынбаевич – концепция исследования, научное редактирование текста, итоговые выводы.

Абдыкалык кызы Жыпаргул – сбор материала по литературным источникам.

Кудуев Алтынбек Жалилбекович – проведение экспериментальной части.

Рашид кызы Бурулча – написание текста, обработка материалов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.10.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 29.11.2023.