DOI: 10.32743/UniChem.2025.136.10.20835

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ТЕБИНБУЛАКСКОГО ВЕРМИКУЛИТА

Султанова Нилуфар Сайфуллаевна
докторант,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Исмаилова Раъно Музаффаровна
доц., канд.техн. наук,
Национальный институт искусства и дизайна,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Ражабова Элмира Бекпулатовна
студент,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Исмаилов Ровшан Исраилович
проф., д-р хим. наук,
Ташкентский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: r.i.ismailov1972@gmail.com

STUDY OF MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF DISPERSED PARTICLES OF TEBINBULAK VERMICULITE

Sultanova Nilufar Saifullaevna
Doctoral candidate,
Tashkent State Technical University,
Uzbekistan, Tashkent

Ismailova Rano Muzaffarovna
Associate Professor, Ph.D. in Engineering,
National Institute of Art and Design,
Uzbekistan, Tashkent

Rajabova Elmira Bekpulatovna
Student,
Tashkent State Technical University,
Uzbekistan, Tashkent

Ismailov Rovshan Israilovich
Professor, Doctor of Chemical Sciences,
Tashkent State Technical University,
Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены результаты исследований, посвящённых огнестойкости материалов, обработанных вспученным вермикулитом. Показано, что полученные данные зависят от размера частиц дисперсной фазы, ориентации пластинчатых гранул, а также их влажности и температурных условий. Установлено, что одной из ключевых особенностей вермикулита является его способность к вспучиванию, благодаря чему возможно создание лёгких и эффективных огнезащитных материалов. Рассмотрены свойства и состав вермикулита из месторождения Тебинбулак, который используется для производства антипиреновой композиции, предназначенной для обработки древесины и текстиля. Эта композиция основана на вермикулите, растворенном в кислой среде

Библиографическое описание: ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ТЕБИНБУЛАКСКОГО ВЕРМИКУЛИТА // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Султанова Н.С. [и др.]. 2025. 10(136). URL: *https://7universum.com/ru/nature/archive/item/20835*

и нейтрализованном щелочами. При модификации материалов с использованием разработанных антипиреновых композитов можно получить огнестойкие древесные и текстильные изделия, соответствующие требованиям ГОСТ по огнестойкости, дымообразованию и другим физико-механическим характеристикам.

ABSTRACT

This article presents the results of fire resistance studies related to the treatment with expanded vermiculite. These studies depend on the size of the dispersed particle, the orientation of the granules, as well as their humidity and temperature. It was revealed that one of the most remarkable and practically important properties of vermiculite is its ability to expand, which makes it possible to produce lightweight and effective materials for improving fire resistance. The properties and compositions of vermiculite from the Tebinbulak deposit, which is used to produce a fire retardant composition intended for the treatment of wood and textiles, are considered. This composition is based on vermiculite dissolved in an acidic medium and neutralized with alkalis. When modifying materials using the developed fire retardant composites, it is possible to obtain fire-resistant wood and textile products that meet the requirements of GOST for fire resistance, smoke formation and other physical and mechanical characteristics.

Ключевые слова: свойства, состав, дисперснос$_{ть}$, вермикулит, огнезащита, антипирен, материал.
Keywords: properties, composition, dispersity, vermiculite, fire protection, fire retardant, material.

Введение

Важнейшим элементом системы противопожарной безопасности является обеспечение огнезащиты, основная функция которой заключается в повышении предела огнестойкости материалов (в том числе древесины и текстильных изделий) до регламентированных нормативами значений. Дополнительно огнезащита направлена на снижение горючести и воспламеняемости материалов, что способствует предотвращению возникновения очагов пожара и ограничению распространения пламени. Соблюдение этих требований позволяет существенно снизить вероятность человеческих жертв, а также уменьшить материальный ущерб от пожаров. Среди различных способов повышения огнестойкости наиболее эффективным и технологически доступным является применение специализированных огнезащитных покрытий. Разработка и внедрение подобных материалов, ориентированных на условия промышленности Узбекистана, является актуальной научно-технической задачей. Пожары наносят ощутимый экономический ущерб промышленным предприятиям, причём значительная часть потерь обусловлена не только разрушительным действием огня, но и токсичными газами и продуктами термического разложения, выделяющимися в процессе горения. Пожарная опасность текстильных материалов определяется комплексом пожарно-технических характеристик. К их числу относят горючесть, воспламеняемость, скорость распространения пламени по поверхности, интенсивность дымообразования и токсичность выделяемых при горении газов. Проведённые исследования показали, что для эффективного повышения огнестойкости текстильных и полимерных материалов целесообразно использовать вспученный вермикулит. Его огнезащитные свойства зависят от дисперсного состава, ориентации пластинчатых гранул, влажности и температурных условий. Ключевая особенность вермикулита заключается в его способности к термическому вспучиванию, что позволяет получать лёгкие и эффективные композиционные материалы, значительно повышающие предел огнестойкости изделий [1-5].

Основная цель различных методов огнезащиты заключается в максимальном замедлении нагрева защищаемой поверхности при сохранении её прочностных и эксплуатационных характеристик на заданный промежуток времени. Учитывая наличие значительных запасов сырьевых ресурсов, представляется возможным наладить производство подобных огнезащитных материалов на территории страны, обеспечив их качество на уровне импортных аналогов [6–9].

Одним из наиболее ценных свойств вермикулита является его способность к значительному увеличению объёма при термическом воздействии, в результате чего он превращается в лёгкий и эффективный теплоизоляционный материал. Этот феномен издавна привлекает внимание исследователей и производителей. Степень вспучивания вермикулита определяется целым рядом факторов, включая минеральный состав и кристаллическое строение исходной гидрослюды, её влажность, способ измельчения, скорость нагрева, длительность термообработки и режим охлаждения. Важную роль играет также пространственное расположение слоёв вермикулита и их чередование со слоями флогопита или биотита в исходной структуре минерала. При исследовании гидрослюд из новых месторождений этому аспекту следует уделять особое внимание, так как он оказывает существенное влияние на процесс вспучивания и свойства получаемого материала. Экспериментальные результаты показывают, что огнезащитные характеристики, достигаемые при использовании вспученного вермикулита, зависят не только от его собственного минерального состава, но и от гранулометрических параметров, ориентации частиц, их влажности и температуры обработки. Установлено, что при одинаковой насыпной плотности материала теплопроводность существенно возрастает с увеличением среднего размера гранул. Причём угол наклона зависимости теплопроводности от гранулометрического состава увеличивается при повышении температуры, что объясняется возрастанием роли конвективных процессов теплопередачи в крупнозернистых системах по сравнению с мелкозернистыми [10–15].

Для успешной реализации стратегии развития лёгкой промышленности Узбекистана требуется активное

внедрение инновационных и научно-технических решений. В частности, необходимо разрабатывать и внедрять прогрессивные технологии, обеспечивающие получение новых видов текстильных и древесных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и специализированными свойствами, путем применения композиционных антипиренов. Для получения антипиренового композита в работе приводятся данные о диспергировании вермикулита как основной компонент в составе композиции, который придает при обработке материалов специальные свойства [16–18].

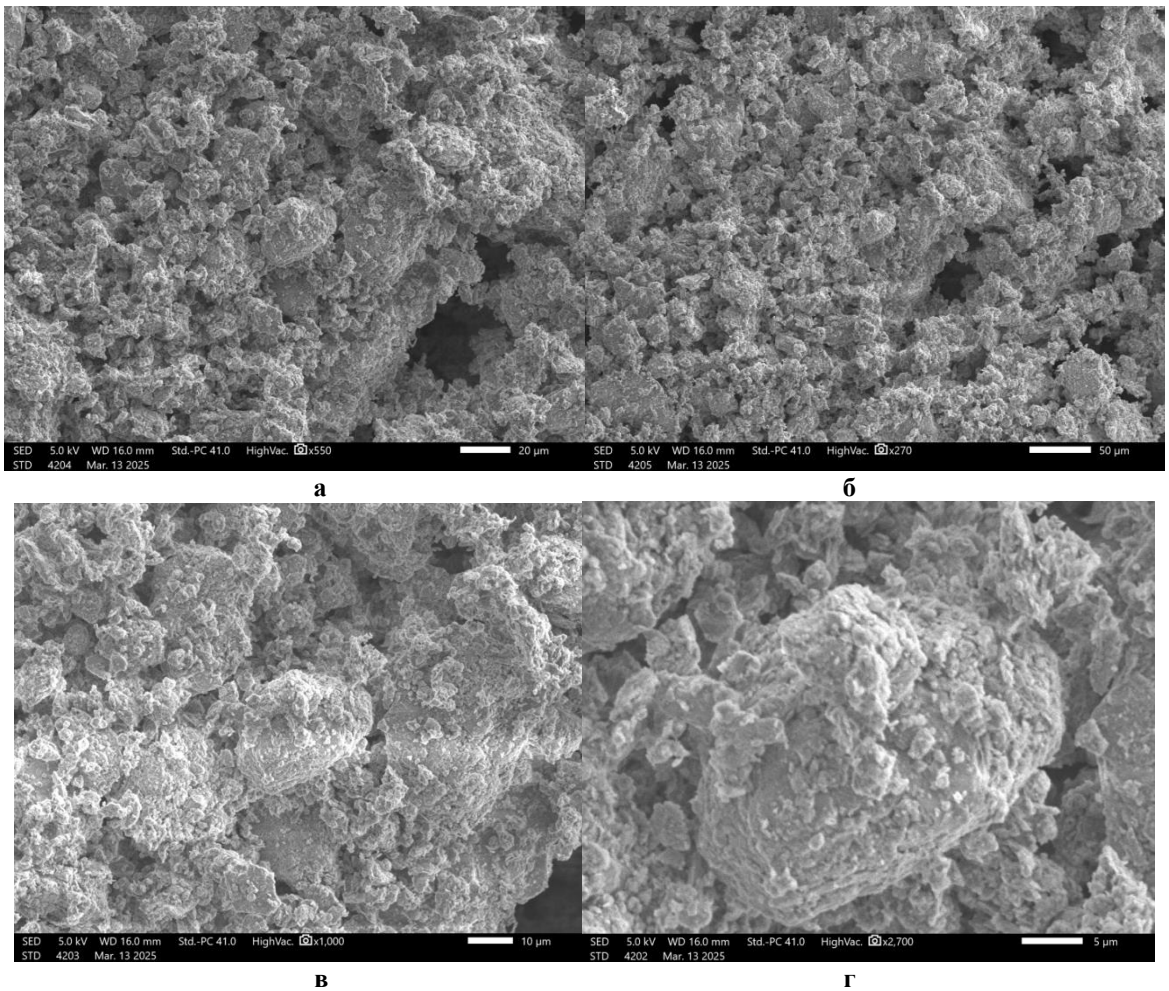
Материалы и методы.

Морфологические особенности поверхности образцов исследовались с использованием сканирующего электронного микроскопа SEM EVO MA 10 (Zeiss, Германия). Пробоподготовка включала нанесение порошкообразного образца (или приклеивание кусочка образца) на держатель с алюминиевой фольгой. Мелкодисперсные порошки предварительно прессовали в таблетки. Держатель с образцом помещали в вакуумную камеру микроскопа. Исследования выполнялись при ускоряющем напряжении 15 кВ и рабочем расстоянии 8,5 мм. Получение изображений осуществлялось в диапазоне масштабов от 200 до 10 мкм с применением программного обеспечения SmartSEM в режиме детектирования обратно рассеянных электронов (BSD).

Элементный состав локальных областей образцов анализировали с использованием энергодисперсионного рентгеновского спектрометра (EDS) Oxford Instruments – Aztec Energy Advanced X-act SDD. Результаты анализа включали электронные изображения с выделенными участками, таблицы элементного состава и графические спектры. Для анализа поверхности контрольных и обработанных антипиренами образцов использовался сканирующий электронный микроскоп, предварительно на поверхность наносился тонкий проводящий слой серебра.

Результаты и их обсуждение.

Для исследования морфологических особенностей поверхности образцов использовали метод сканирующей электронной микроскопии с применением микроскопа SEM EVO MA 10 (Zeiss, Германия). На рисунке 1 приводятся изображения диспергированного вермикулита в различных увеличениях.



а **б**

в **г**

Рисунок 1. SEM -изображения невспученного вермикулита при различных увеличениях: (а) ×270 Общий обзор структуры материала, (б) ×550 Оценка морфологии и распределения частиц, (в) ×1000 Анализ распределения и агрегации частиц, и (г) ×2700 Детальный морфологический анализ

Рисунок 2 иллюстрирует результаты энергодисперсионного анализа вспученного вермикулита, демонстрируя как изображения, полученные в ходе анализа, так и график, отражающий элементный состав материала.

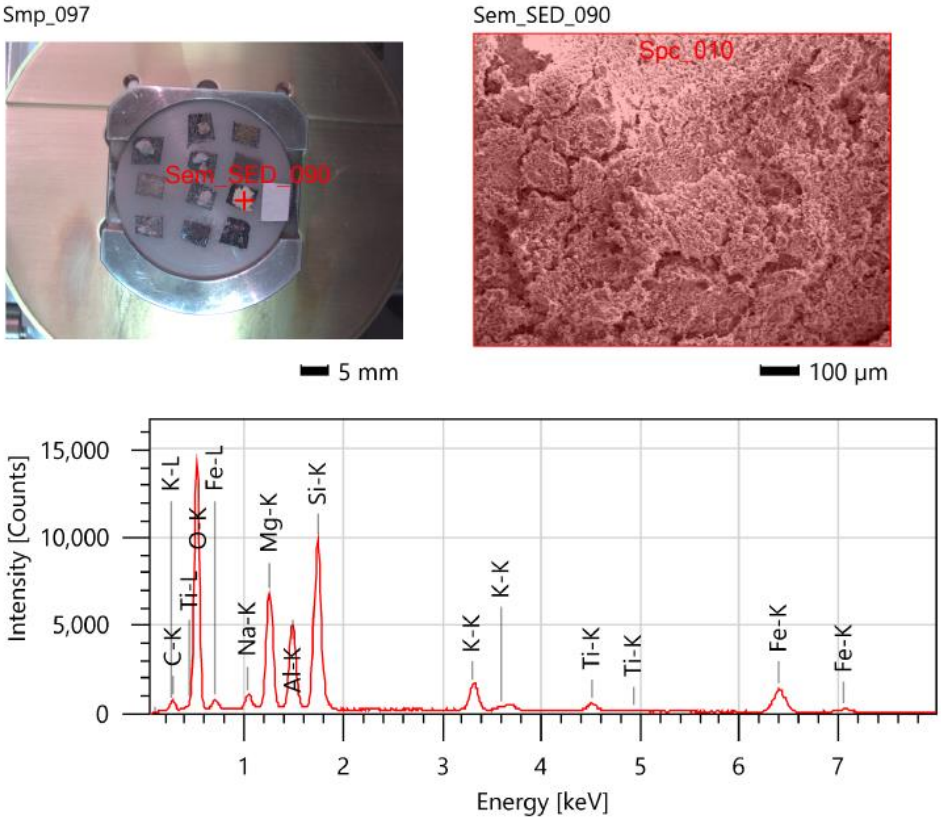


Рисунок 2. Результаты энергодисперсионного анализа (SEM-EDS) образца Smp_097: расположение области анализа, SEM-микрофотография и соответствующий спектр EDS

В таблице 1 приведена методика энергодисперсионного анализа включала в себя следующие параметры и условия измерения: ускоряющее напряжение значение, ток зонда значение, увеличение значение, время обработки значение. Измерения проводились детектором название детектора, при этом регистрировались следующие временные характеристики: живое время значение, реальное время значение, мертвое время значение и скорость счета значение.

В таблице 2 приведены результаты элементного анализа в которых были определены следующие параметры: для элемента, массовая доля, атомная доля составляющих вспеченный вермикулит.

Таблица 1.

Параметры измерений при проведении энергодисперсионного анализа

Параметры	Значение
Условия измерения	-
Напряжение ускоряющее	20.00 кВ
Ток зонда	–
Увеличение	×120
Время обработки	ТЗ
Детектор измерения	Первый
Время живое	30.00 секунд
Время реальное	32.97 секунд
Время мёртвое	8.00 %
Скорость счёта	15547.00 имп/с (CPS)

Таблица 2.

Элементный состав образца по данным энергодисперсионного анализа (ЭДСА)

Имя файла	Стандартные данные	Метод количественного анализа	Тип результата
Spc_010	Без стандарта	ZAF	Металл
Элемент	Линия	Массовая доля (%)	Атомная доля (%)
C	K	7.99±0.13	12.97±0.20
O	K	48.44±0.27	59.09±0.33
Na	K	1.70±0.05	1.44±0.04
Mg	K	9.24±0.09	7.42±0.07
Al	K	6.60±0.07	4.78±0.05
Si	K	13.56±0.10	9.42±0.07
K	K	3.03±0.05	1.51±0.02
Ti	K	1.26±0.04	0.51±0.02
Fe	K	8.18±0.12	2.86±0.04
Итого		100.00	100.00

Коэффициент подгонки: 0.0190

Энергодисперсионный анализ образца Тебинбулакского вермикулита показал преобладание следующих элементов: магния (Mg), алюминия (Al), кремния (Si), железа (Fe), а также следовые количества натрия (Na) и калия (K). Полученные данные подтверждают высокое содержание кремния и магния, что характерно для вермикулитовых минералов. Сравнение с литературными данными указывает на схожесть с другими образцами вермикулита, однако отмечается повышенное содержание алюминия, что может свидетельствовать о специфических условиях формирования данного минерала. Учитывая элементный состав, Тебинбулакский вермикулит имеет потенциал для использования в материалах и в качестве добавки для улучшения специальных свойств.

Заключение

На основе всестороннего исследования полевых проб вермикулитовой руды, добытой на местных месторождениях, был создан вермикулитовый концентрат (20 кг) с уникальными свойствами. Диспергирование частиц вермикулита дает возможность регулирования и управление свойствами получаемого антипиренового композита для придания специальных свойств текстильным и древесным материалам. Определение химического, минерального и гранулометрического составов концентрата открыло возможность его использования в инновационной антипиреновой композиции. Применение этой композиции позволяет значительно улучшить физико-механические характеристики текстильных и древесных материалов, обеспечивая качественно новый уровень огнестойкости и снижая риски возникновения пожаров.

Список литературы:

1. Фазуллина Р.Н., Красина И.В. Разработка методики синтеза вспучивающегося антипирена для придания огнестойкости текстильным материалам // Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии образование – наука – производство. – Казань, 2016. – С. 219–227.
2. Özer M. S., Gaan S. Recent developments in phosphorus based flame retardant coatings for textiles: Synthesis, applications and performance. Progress in Organic Coatings, Vol. 171, October 2022, Article 107027.
3. Дьяченко В.В., Ковальчук Л.С., Лаврентьева Е.П., Михайлова М.П., Школа Н.Н. Инновационные текстильные огне- и термостойкие материалы для спецодежды и средств индивидуальной защиты // Технический текстиль. – 2011. – № 26. – С. 43-49.
4. Son M., Kim J., Oh M., Lee S. Phosphorus-based flame retardant acrylic pressure sensitive adhesives with superior peel strength and transfer characteristics // Prog. Org. Coat. — 2023. — Vol. 185. — Art. 107931.
5. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. – 2002. – № 6. – С. 2–5.
6. Chen M., Guo Q., Yuan Y. Recent Advancements of Bio-Derived Flame Retardants for Polymeric Materials // Polymers. 2025. Vol. 17. № 2. Art. 249
7. Сабирзянова Р.Н. Исследование влияния вспучивающих антипиренов на повышение огнестойкости текстильных материалов // Вестник Казанского национального исследовательского технологического университета. Т.17. №3. 2014. С. 53-54.
8. Jiang S., Wang J., Wen S., Chen K. The Effect of Expanded Vermiculite on the Fire Resistance of Waterborne Acrylic Coatings // Polymers (Basel). 2024. Vol. 16. № 16. Art. 2302

9. Kremenetskaya I., Tereshchenko S., Mikhailova I. Vermiculite-lizarditeameliorants from mining waste // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing. -2019. -№368. – P.1264-1271.
10. Silva Tenório Alves L.R.P., Tenório C., Alves M.D. Polyurethane/Vermiculite Foam Composite as Sustainable Material for Vertical Flame Retardant // Polymers (Basel). 2022. Vol. 14. № 18. Art. 3777
11. Assis Neto P.C. Expanded Vermiculite: A Short Review about Its Production, Characteristics, and Effects on the Properties of Lightweight Mortars // Buildings. – 2023. Vol. 13. № 3. – Art. 823.
12. Feng J., Liu M., Fu L., Ma S., Yang J., Mo W., Su X. Mg^{2+} modification on vermiculite thermal expansion based on molecular dynamics simulation // Ceramics International. – 2020. Vol. 46. № 5. – P. 6413–6417.
13. Martins M.A., Silva L.R., Kuffner B.H., Barros R.M., Melo M.L. Durability indicators of high-strength self-compacting concrete with marble and granite wastes and waste foundry exhaust sand using electrochemical tests // Construction and Building Materials. – 2022. Vol. 317. – Art. 126492
14. Liu Y., Gao C., Wang Y., Yang S. Vermiculite modification increases carbon retention and stability of rice straw biochar at different carbonization temperatures // Journal of Cleaner Production. – 2020. №254. – P.1183–1189.
15. Binici H., Aksogan O. Fire resistance of composite made with waste cardboard, gypsum, pumice, perlite, vermiculite and zeolite // SN Applied Sciences. – 2019. – Vol. 1, Art. 1244. – P. 3218–3226.
16. Исмаилов Р.И. Катионные поверхностно-активные вещества для регулирования свойств текстильных волокон: Автореф. Дисс. ...док.хим.наук. –Ташкент, 2014. – 87 с.
17. Ismailov R.I., Nigmatova F.U., Askarov M.A., Alimova K.A. Modification of natural fibers and leathers by polymer fillers based on a polyquaternary salt // Fibre chemistry. – 2012. – №43. – P. 441-447.
18. Хайдаров И.Н., Исмаилов Р.И., Хасанов О.Х. Исследование ИК-спектральных анализов тебунбулакского и модифицированного вермикулита, для получения суспензионного антипирена // Универсум: технические науки. –2020. –№1. –С. 52-57.