

**КОМБИНИРОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ С ПОВЫШЕННОЙ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТЬЮ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ И ЧАСТИЦ БЕНТОНИТА****Ф.А. Быков¹, А.С. Одинцов², Е.Л. Владимирцева¹, А.К. Шибанова¹**

¹Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ), пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: baiii1@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, shibanovanasta7@gmail.com

²ООО «Химтекс», ул. Профтехническая, зд. 1Д, стр. 1, Вичуга, Ивановская область, Российская Федерация, 155333

В работе рассматривается проблема очистки сточных вод текстильного отделочного производства от синтетических красителей. Оценена сорбционная активность бентонита по отношению к синтетическим красителям различных классов: активным, прямым, дисперсным, пигментам. Максимальная эффективность действия бентонита достигается при использовании пигментов. Растворы практически обесцвечиваются, а светлый минерал приобретает окраску сорбируемого красителя. Для других классов красителей полного обесцвечивания красильных ванн не наблюдалось. Система не очистилась даже от дисперсных красителей, которые имеют с пигментами общие характерные черты, например, частицы мельчайшего размера и отсутствие групп, придающих им растворимость в водной среде. Предположительно в этом случае сорбцию дисперсных красителей ограничивают присутствующие в выпускной форме диспергаторы и защитные коллоиды, препятствующие агрегации и седиментации. Поскольку в целях удаления красителей из технологических растворов применение непосредственно измельченных минералов неудобно, потому что возникают проблемы как с помещением порошков в зону фильтрации, так и удаления минералов, загрязненных красителями и текстильно-вспомогательными веществами, была предпринята попытка повысить эффективность удаления водорастворимых красителей из стоков с использованием бентонита, закрепив его на волокнистой основе. В качестве матрицы применялись волокнистые материалы различной химической природы. Изучена возможность создания комбинированных фильтровальных материалов, включающих волокнистую матрицу с иммобилизованными на ней микрочастицами бентонита, проявляющего высокую сорбционную активность по отношению к красителям, используемым при колорировании текстильных материалов. При использовании недорогого и доступного минерального сырья (бентонитов) в сочетании с волокнистыми материалами, преимущественно отходами текстильного производства (брак, очёсы, лоскут и пр.) получен эффективный адсорбент.

Ключевые слова: волокно, алюмосиликаты, бентонит, краситель, сорбция

**COMBINED MATERIAL WITH INCREASED SORPTION ACTIVITY BASED
ON NATURAL FIBROUS RAW MATERIALS AND BENTONITE PARTICLES****F.A. Bykov¹, A.S. Odintsov², E.L. Vladimirtseva¹, A.K. Shibanova²**

¹Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology (ISUCT), Sheremetevsky Ave., 7, Ivanovo, 153000, Russian Federation
E-mail: baiii1@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, shibanovanasta7@gmail.com

²ООО "Khimtex", Professional st., building 1D, p. 1, Vichuga, Ivanovo region, 155333, Russian Federation

The problem of cleaning textile finishing production wastewater from synthetic dyes is solved. The sorption activity of bentonite with respect to synthetic dyes of various classes is estimated: active, direct, dispersed, pigments. The best results are obtained by settling pigments in the

presence of bentonite. The solutions are practically decolorized, and the light mineral acquires the color of the sorbed dye. Solutions of other classes dyes could not be completely decolorized. The solution was not purified even from dispersed dyes, which have common characteristics with pigments, for example, particles of the smallest size and the absence of groups that impart solubility to them in the summary medium. Presumably, in this case, the sorption of dispersed dyes is limited by dispersants and protective colloids present in the final form, preventing aggregation and sedimentation. Since the use of directly crushed minerals for the purpose of removing dyes from process solutions is inconvenient, because there are problems with both placing powders in the filtration zone and removing minerals contaminated with dyes. It was possible to increase the efficiency of removing water-soluble dyes from wastewater using bentonite by fixing it on a fibrous base. Fibrous materials of various chemical nature were used as a matrix. The possibility of creating combined filter materials was studied, including a fibrous matrix with bentonite microparticles immobilized on it, which exhibits high sorption activity with respect to dyes used in coloring textile materials. An effective adsorbent was obtained when using inexpensive and accessible mineral raw materials (bentonites) in combination with fibrous materials, mainly textile waste (marriage, tow, rags, etc.).

Keywords: fiber, aluminosilicates, bentonite, dye, sorption

Для цитирования:

Быков Ф.А., Одинцов А.С., Владимирцева Е.Л., Шибанова А.К. Комбинированный материал с повышенной сорбционной активностью на основе природного волокнистого сырья и частиц бентонита. *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 77–82. DOI: 10.6060/rcj.2025694.12.

For citation:

Bykov F.A., Odintsov A.S., Vladimirtseva E.L., Shibanova A.K. Combined material with increased sorption activity based on natural fibrous raw materials and bentonite particles. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 77–82. DOI: 10.6060/rcj.2025694.12.

ВВЕДЕНИЕ

Текстильное производство характеризуется значительными объемами сточных вод (СВ). В зависимости от вида производства, используемого сырья, оборудования, проводимых технологических процессов, возможности рециклинга воды количество образующихся стоков варьируется в широких пределах [1, 2]. Основными загрязнителями сточных вод красильно-отделочных предприятий текстильной промышленности являются органические красители различных классов, которые попадают туда при промывке тканей, оборудования, с химических станций и т.д. По данным ряда исследователей в процессе окрашивания теряется 0-25% красителей и 2-20% непосредственно выбрасываются в виде водных стоков [2-5].

Для очистки сточных вод от синтетических красителей наиболее востребованными являются различные сорбционные технологии, в которых применяют вещества, обладающие сорбционной активностью. В настоящее время приобрели распространение сорбенты на основе природных алюмосиликатов с высокой дисперсностью и развитой поверхностью, что придает им большую адсорбционную

емкость. Их востребованность объясняется доступностью, низкой себестоимостью, экологичностью и возможностью утилизации [6-10].

Слоистые природные алюмосиликаты не токсичны, имеют кристаллическую структуру с однородными порами молекулярных размеров (нано-размеров), способны к ионному обмену, обладают протонной и апротонной кислотностью. Алюмосиликаты находят широкое применение в качестве наполнителей пластмасс и резин, высокоэффективных систем выделения и очистки нормальных парафиновых углеводородов, разделения смесей различных газов и жидкостей. Перечисленные выше особенности глинистых минералов, совместно с их высокой дисперсностью, а потому и чрезвычайно развитой поверхностью, обуславливают также большую адсорбционную емкость, т.е. способность активно поглощать из растворов различные вещества [11-18].

Наибольшей эффективностью очистки по отношению к выделяемым примесям обладают мелкодисперсные фильтрующие материалы, поскольку в этом случае увеличивается удельная поверхность, и уменьшаются размеры пор между их частицами. Вместе с тем, применение таких материалов свя-

зано с проблемами их фиксации в определенном положении, необходимом для проведения очистки раствора, поэтому чаще всего мелкодисперсные сорбенты фиксируются на какой-либо матрице [19, 20].

Обычно при изучении свойств сорбирующих материалов в качестве индикатора используют тиозиновый краситель метиленовый синий [21]. Диссоциируя в воде с выделением активного катиона, он легко поглощается монтмориллонитом не только на поверхности, но и в межслоевом пространстве. Проблема в том, что этот краситель практически не используется для крашения текстильных материалов. Поэтому применение его в качестве модельного соединения дает неполное представление об активности сорбентов по отношению к органическим красителям других классов. Основные и катионные красители, которые чаще всего применяются в качестве объектов для изучения сорбционной активности алюмосиликатов, в практических технологиях используют крайне редко.

В настоящее время на текстильных предприятиях чаще всего используются пигменты, активные и прямые красители, реже дисперсные. Исследования, проводимые на кафедре химической технологии волокнистых материалов Ивановского государственного химико-технологического университета, касаются возможности извлечения из сточных вод с применением природных глин именно этих красителей.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объектов в экспериментах использовали волокна разного химического строения: целлюлозное (Хл), полиэфирное (ПЭФ), поликрилонитрильное (ПАН) и полипропиленовое (ПП).

Бентонит использовался в виде порошка, размолотого и просеянного через сито с фиксированным размером ячеек: 0,09 мм. Порошок бентонита на волокна наносили из водной дисперсии при комнатной температуре при постоянном перемешивании. Соотношение бентонит:вода составляло 1:100; время перемешивания – 20 мин. В работе использованы красители, наиболее часто применяемые на отделочных фабриках для колорирования текстильных материалов: активные, прямые, дисперсные, пигменты. В качестве модельного соединения опробован раствор метиленового синего ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) с исходной концентрацией 0,007 г/л. Краситель метиленовый синий был выбран по аналогии с целым рядом публикаций, в которых оценка сорбционной активности алюмосиликатов проводилась именно с этим красителем [21].

Растворы красителей для отстаивания и фильтрования смешивали с дисперсией бентонита (5-10 г/л) или пропускали через фильтровальный материал – волокнистый фильтр длиной 30 мм. Очистку воды от красителя контролировали спектрофотометрическим методом на приборе КФК-2МП.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 представлено изменение оптической плотности дисперсий синтетических красителей с бентонитом при отстаивании в течение 1 сут.

Максимальная степень сорбции в присутствии бентонита в системе наблюдается для пигментов (табл. 1), раствор становится прозрачным и бесцветным, а бентонит окрашивается в соответствующий красящему веществу цвет.

Таблица 1

Оптическая плотность дисперсий синтетических красителей с бентонитом при отстаивании в течение суток

Table 1. Optical density of synthetic dyes dispersions with bentonite when settling for 24 hours

Красители	Исходный раствор	После отстаивания с бентонитом
Прямой бирюзовый светопрочный К	0,256	0,102
Прямой оранжевый 2Ж	0,604	0,144
Прямой зеленый ЖХ	0,328	0,053
Активный дихлортриазинный красный 5СХ	0,427	0,419
Активный винилсульфоновый синий 2КТ	0,065	0,059
Пигмент золотисто-желтый К2R	0,215	0,006
Пигмент оранжевый	0,197	0,022
Пигмент OR	0,164	0
Пигмент R3B	0,152	0,029
Пигмент VRE	0,069	0,009
Дисперсный темно-синий	0,212	0,111
Дисперсный фиолетовый К	0,042	0,025

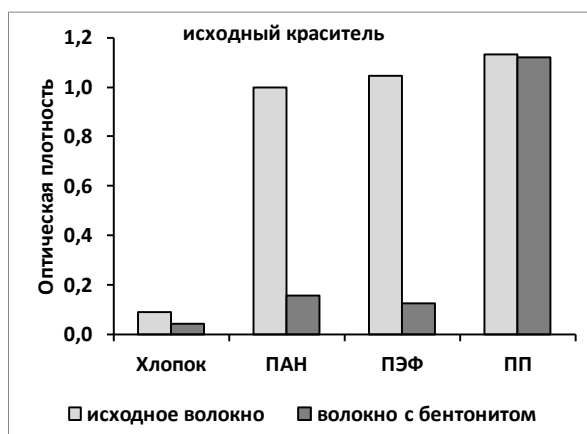


Рис.1. Изменение оптической плотности растворов красителя метиленового синего

Fig. 1. Change in optical density of methylene blue dye solutions

Растворы красителей других классов не удалось полностью обесцветить. Даже для красильной ванны, включающей дисперсные красители, которые имеют с пигментами общие характерные черты, например, частицы мельчайшего размера и отсутствие групп, придающих им растворимость в водной среде, снижение оптической плотности составило 40-47%. Предположительно в этом случае сорбцию дисперсных красителей ограничивают присутствующие в выпускной форме диспергаторы и защитные коллоиды, препятствующие агрегации и седиментации.

Неплохие результаты получены с прямыми красителями – в среднем из растворов удаляются до 70% красителей. Активные красители сорбируются гораздо хуже – менее 20%. Как и следовало ожидать, эффективной сорбции бентонитом актив-

ных и прямых красителей мешает отрицательный заряд, приобретаемый ими в водной среде. Также отрицательное влияние может оказывать высокая энергия гидратации анионоактивных красителей, не подпускающая их к поверхности сорбента. Косвенно это подтверждается худшей сорбцией активных красителей по сравнению с прямыми.

Повысить эффективность удаления водорастворимых красителей из стоков с применением природного минерала можно, закрепив его на волокнистой основе. Минерал наносится из водной дисперсии. Удержание его на волокне происходит за счет сил электростатического взаимодействия [22]. Гравиметрическая оценка количества нанесенного и зафиксированного на волокне порошка показала, что содержание алюмосиликата на волокнах составляет от 0,2592 до 5,5323 вес. %.

На рис. 1 отражено изменение оптической плотности модельного красителя метиленового синего после пропускания через фильтры на основе бентонита и волокнистых материалов различной химической природы. Полученные данные по изменению оптической плотности растворов, а также их визуальная оценка показала, что фиксация частиц бентонита на волокнах в большинстве случаев значительно повышает их сорбционную активность по отношению к органическим красителям.

Отфильтрованные растворы теряют цвет и становятся практически прозрачными, интенсивность поглощения красителя в них снижается почти до нуля. При этом следует отметить, что если хлопчатобумажное волокно само по себе эффективно сорбирует краситель, то с исходными ПАН и

Таблица 2

Оптическая плотность дисперсий синтетических красителей после пропускания через хлопко-бентонитовый фильтр

Table 2. Optical density of synthetic dyes dispersions after passing through a cotton-bentonite filter

Красители	Исходный раствор	После фильтрования
Прямой бирюзовый светопрочный К	0,256	0,04
Прямой оранжевый 2Ж	0,604	0,044
Прямой зеленый ЖХ	0,328	0,013
Активный дихлортриазиновый красный 5СХ	0,427	0,019
Активный винилсульфоновый синий 2КТ	0,065	0,009
Пигмент золотисто-желтый К2R	0,215	0,001
Пигмент оранжевый	0,197	0,002
Пигмент OR	0,164	0
Пигмент R3B	0,152	0,003
Пигмент VRE	0,069	0,003
Дисперсный темно-синий	0,212	0,051
Дисперсный фиолетовый К	0,042	0,015

ПЭФ волокнами такого не происходит. Эти материалы поглощают краситель только в том случае, если на них находятся частицы бентонита. ПП, даже в сочетании с бентонитом, краситель не сорбирует, что связано со слабым закреплением частиц монтмориллонита на его поверхности и вымыванием их вместе с фильтруемым красителем.

Эксперимент повторили, используя в качестве сорбента отходы от чесания отбеленного хлопчатобумажного волокна, обработанного дисперсией бентонита, а в качестве красителей – реально используемые на производстве. Окрашенные растворы пропускали через сделанный из спрессованного материала фильтр, после чего также оценивали оптическую плотность фильтрата (табл. 2). При сравнении данных табл. 1 и 2 отметили, что комбинированный фильтровальный материал заметно эффективнее исходного минерала.

При использовании в качестве матрицы для частиц бентонита хлопкового волокна удалось на 20-40% повысить эффективность сорбции, а главное, удалить из раствора прямые и активные красители. Дальнейшие исследования планируется направить на разработку технологии утилизации использованных фильтровальных материалов.

ВЫВОДЫ

Оценена сорбционная активность бентонита по отношению к синтетическим красителям

различных классов: активным, прямым, дисперсным, пигментам. Высокая степень удаления красящего вещества в этом случае достигается для пигментов. Повысить эффективность удаления водорастворимых красителей из стоков с применением бентонита удалось, закрепив его на волокнистой основе, также имеющей сродство к извлекаемым красителям. Установлено, что иммобилизованные на поверхности волокон частицы монтмориллонита значительно повышают сорбционную активность текстильного материала по отношению к красителям. Для натуральных материалов повышение составляет 10-20%, а для химических 70-80%. При использовании недорогого и доступного минерального сырья (бентонитов) в сочетании с натуральными волокнистыми материалами, также проявляющими к красителям сорбционную активность (хлопковое волокно), получен адсорбент, позволяющий эффективно очищать отработанные красильные растворы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-20119, <https://rscf.ru/project/25-23-20119/>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев В.Н. // *Экология на предприятии*. 2015. № 1. С. 87–96.
2. Грушко Я.М. // *Вредные органические соединения в промышленных сточных водах*. Л.: Химия. 1982. 272 с.
3. Атаманова О.В., Истрашкина М.В. // *Сб. науч. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. 11-13 декабря 2019 г. Саратов*. 2019. Ч. 2. С. 11-15.
4. Абдуллин И.Ш., Нefeldьев Е.С., Ибрагимов Р.Г. // *Вестник КНИТУ*. 2013. Т. 16. № 3. С. 22–27.
5. Abduova A.A., Myrhalykov Zh.U. // *Text. Ind. Technol. Sci. and Tech. J.* 2015. № 1. P. 122-135.
6. Кошелев А.В., Скиданов Е.В., Тихомирова Е.И. // *Химическая безопасность*. 2018. Т. 2. № 2. С. 158–172.
7. Бутман М.Ф., Овчинников Н.Л., Косенко Н.Ф., Филатова Н.В., Погонин А.Е. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 159–172. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6833j.
8. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. 68. № 2. С. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
9. Ханхасаева С.Ц., Бадмаева С.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 23–29. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6438.

REFERENCES

1. Anufriev V.N. // *Ecology at the enterprise*. 2015. N 1. P. 87–96. (in Russian).
2. Grushko Ya.M. Harmful organic compounds in industrial wastewater. L.: Chemistry. 1982. 272 p. (in Russian).
3. Atamanova O.V., Istrashkina M.V. // *Materials of the All-Russian scientific-practically conference*. 11-13 December 2019. Saratov. 2019. Part 2. P. 11-15. (in Russian).
4. Abdullin I.Sh., Nefedev E.S., Ibragimov R.G. // *Bull. of KNITU*. 2013. V. 16. N 3. P. 22–27. (in Russian).
5. Abduova A.A., Myrhalykov Zh.U. // *Text. Ind. Technol. Sci. and Tech. J.* 2015. N 1. P. 122-135.
6. Koshelev A.V., Skidanov E.V., Tikhomirova E.I. // *Chem. Saf.* 2018. V. 2. N 2. P. 158–172. (in Russian).
7. Butman M.F., Ovchinnikov N.L., Kosenko N.F., Filatova N.V., Pogonin A.E. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 159–172. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6833j.
8. Dymnikova N.S., Erohina E.V., Kusnetsov O.Yu. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 2. P. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
9. Khankhasaeva S.Ts., Badmaeva S.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 5. P. 23–29. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6438.

10. Bencheqroun Z., Chaouki Z., Hadri M. // *Conf. S.: Earth and Environmental Sci.* 2018. V. 161. N 1. P. 2001–2009. DOI: 10.1088/1755-1315/161/1/012009.
11. Farkas A., Dekany I. // *Colloid Polymer Sci.* 2001. V. 279. P. 459. DOI: 10.1007/s003960000442.
12. Miyah Y., Lahrichi A., Idrissi M. // *J. Materials and Environmental Sci.* 2017. V. 8. N 10. P. 3570–3582.
13. Hu Q.H., Qiao S.Z., Haghseresht F. // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2006. V. 45. P. 733–738. DOI: 10.1021/ie050889y.
14. Wang C.C., Juang L.C., Hsu T.C. // *J. Colloid Interf. Sci.* 2004. V. 273. P. 80–86. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.12.028.
15. Abidi N., Duplay J., Jada A. // *Comptes Rendus Chimie.* 2018. V. 22. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.crci.2018.10.006.
16. Abidi N., Duplay J., Jada A. // *Arabian J. Geosciences.* 2017. V. 10. P. 742–750. DOI: 10.1007/s12517-017-3161-3.
17. Abidi N., Duplay J., Kleitz C. // *J. Colloid Sci. and Biotech.* 2016. V. 5. N 2. P. 145–156. DOI: 10.1166/jcsb.2016.1143.
18. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва).* 2024. Т. 68. № 4. С. 110–122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
19. Медведева И.В., Медведева О.М., Студенок А.Г., Студенок Г.А., Цейтлин Е.М. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 1. С. 6–27. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6538.
20. Rajak D.K., Wagh P.H., Linul E.A. J. // *Materials Research and Technol.* 2022. 15(14). P. 1–28. DOI: 10.3390/ma15144790.
21. Senthilkumar K., Devi V.C., Mothil S., Kumar M. N. // *Desalination and Water Treatment.* 2018. V. 123. P. 90–100. DOI: 10.5004/dwt.2018.22756.
22. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В. Перспективы применения алюмосиликатов в текстильно-отделочном производстве. 2016. Иваново. ИГХТУ. 142 с.
10. Bencheqroun Z., Chaouki Z., Hadri M. // *Conf. S.: Earth and Environmental Sci.* 2018. V. 161. N 1. P. 2001–2009. DOI: 10.1088/1755-1315/161/1/012009.
11. Farkas A., Dekany I. // *Colloid Polymer Sci.* 2001. V. 279. P. 459. DOI: 10.1007/s003960000442.
12. Miyah Y., Lahrichi A., Idrissi M. // *J. Materials and Environmental Sci.* 2017. V. 8. N 10. P. 3570–3582.
13. Hu Q.H., Qiao S.Z., Haghseresht F. // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2006. V. 45. P. 733–738. DOI: 10.1021/ie050889y.
14. Wang C.C., Juang L.C., Hsu T.C. // *J. Colloid Interf. Sci.* 2004. V. 273. P. 80–86. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.12.028.
15. Abidi N., Duplay J., Jada A. // *Comptes Rendus Chimie.* 2018. V. 22. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.crci.2018.10.006.
16. Abidi N., Duplay J., Jada A. // *Arabian J. Geosciences.* 2017. V. 10. P. 742–750. DOI: 10.1007/s12517-017-3161-3.
17. Abidi N., Duplay J., Kleitz C. // *J. Colloid Sci. and Biotech.* 2016. V. 5. N 2. P. 145–156. DOI: 10.1166/jcsb.2016.1143.
18. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 4. P. 110–122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
19. Medvedeva I.V., Medvedeva O.M., Studenok A.G., Studenok G.A., Tseytlin E.M. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2023. V. 66. N 1. P. 6–27. DOI: 10.6060/ivkkt.20236601.6538.
20. Rajak D.K., Wagh P.H., Linul E.A. // *J. Materials Research and Technol.* 2022. 15(14). P. 1–28. DOI: 10.3390/ma15144790.
21. Senthilkumar K., Devi V.C., Mothil S., Kumar M. N. // *Desalination and Water Treatment.* 2018. V. 123. P. 90–100. DOI: 10.5004/dwt.2018.22756.
22. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V. Prospects for the use of aluminosilicates in textile finishing production. 2016. Ivanovo. ISUCT. 142 p.

Поступила в редакцию 09.07.2025
Принята к опубликованию 17.09.2025

Received 09.07.2025
Accepted 17.09.2025