

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРОВ И БЕНТОНИТА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ТИТАНА\***

**COMPOSITE MATERIALS  
BASED ON FIBROUS POLYMERS AND BENTONITE MODIFIED WITH TiO<sub>2</sub>**

*М.Ф. БУТМАН, Н.Л. ОВЧИННИКОВ, Е.Л. ВЛАДИМИРЦЕВА, Ф.А. БЫКОВ*

*M.F. BUTMAN, N.L. OVCHINNIKOV, E.L. VLADIMIRTSEVA, F.A. BYKOV*

*(Ивановский государственный химико-технологический университет)*

*(Ivanovo State University of Chemical Technology)*

*E:mail: vladimirtseva@mail.ru*

*Органические красители являются основным загрязнителем сточных вод текстильного отделочного производства. Для их удаления наиболее широко применяется адсорбционный метод очистки, как наиболее простой и доступный. В работе предложена методика получения композиционных материалов для очистки водных растворов от органических красителей. Материалы получены на основе волокнистых полимеров и алюмосиликатов разных форм. Минеральной матрицей служил природный бентонит, который за счет слабой связи между силикатными слоями обуславливает значительную емкость катионного обмена. Это позволяет эффективно интеркалировать в межслоевое пространство алюмосиликата различные ионы неорганического происхождения. Имобилизация частиц алюмосиликатов на поверхности волокнистых материалов повышает сорбционную активность по отношению к органическим красителям. В первую очередь этот эффект касается материалов натурального происхождения из хлопкового и шерстяного волокон. Появление такого эффекта обусловлено состоянием поверхности волокнистого материала, его электростатическими характеристиками. Присутствие на волокне частиц модифицированного бентонита позволяет удалить до 95 % красителя из раствора. Полученные результаты являются перспективными и отражают общие тенденции экологизации текстильного отделочного производства.*

*Organic dyes are the main pollutant in textile finishing wastewater. For their removal, the adsorption method of purification is widely used as the simplest and most affordable. The paper proposes a method for obtaining composite materials for the purification of aqueous solutions from organic dyes. Materials are obtained on the basis of fibrous polymers and aluminosilicates of various forms. Natural bentonite served as a mineral matrix, which, due to the weak bond between silicate layers, determines a significant capacity of cation exchange. This makes it possible to effectively intercalate various ions of inorganic origin into the interlayer space of the aluminosilicate. The immobilization of aluminosilicate particles on the surface of fibrous materials increases the sorption activity in relation to organic dyes. First of*

\* Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР. Тема № FZZW-2020-0010 и с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

*all, this effect concerns materials of natural origin made from cotton and wool fibers. Its appearance is due to the state of the surface of the fibrous material, its electrostatic characteristics. The presence of modified bentonite particles on the fiber allows removing up to 95% of the dye from the solution. The results obtained are promising and it reflects the general trends in the greening of textile finishing production.*

**Ключевые слова:** адсорбция, волокнистый материал, интеркаляция,-pillарный монтмориллонит, оксид титана.

**Keywords:** adsorption, fibrous material, intercalation, pillared montmorillonite, titanium oxide.

### *Введение*

Органические красители являются основным загрязнением сточных вод текстильного отделочного производства. Для обесцвечивания красителей применяют различные физико-химические, деструктивные, биологические и другие методы, каждый из которых обладает определенными достоинствами и недостатками в отношении конкретных красителей.

В литературе наиболее оптимальным выбором для эффективного метода очистки сточных вод от органических красителей являются продвинутое каталитические системы на основе оксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), в частности, его наноразмерных форм [1], [2]. Известно, что использование наночастиц чистого  $\text{TiO}_2$  затруднено некоторыми ограничениями, такими как низкая адсорбционная способность и возможность агломерации частиц, которые снижают его фотокаталитическую эффективность для процессов очистки воды от загрязняющих веществ органического происхождения. Чтобы преодолеть эти ограничения, наночастицы диоксида титана распределяют на минеральных носителях, таких как природные глинистые минералы [3], особенно монтмориллонит (ММ) [4]. Строение ММ характеризуется трехслойным пакетом (2:1): два слоя кремнекислородных тетраэдров (Т), обращенные вершинами друг к другу, с двух сторон покрывают слой алюмогидроксильных октаэдров (О). Благодаря изоморфным замещениям (например,  $\text{Al}_3^+$  на  $\text{Si}_4^+$  в Т слое и/или  $\text{Al}_3^+$  на  $\text{Mg}_2^+$  в О слое), алюмосиликатные слои заряжены отрицательно, а положительные зарядокомпенсирующие

ионы (противоионы) могут перемещаться в 2D-межслоевом пространстве [4], [5]. Слабая связь между слоями обуславливает значительную емкость катионного обмена [6], [7]. Это позволяет эффективно интеркалировать в межслоевое пространство ММ различные катионы неорганического происхождения, в частности, обладающие фотокаталитической активностью. Один из перспективных методов модификации ММ диоксидом титана, называемый пилларированием, заключается в проведении реакции ионного обмена межслоевых катионов ММ на положительно заряженные полигидроксикомплексы титана или частицы золя  $\text{TiO}_2$  и дальнейшей термической обработки с образованием металлооксидных нанокристаллов (пилларов) в межслоевом пространстве ММ [7]. Результатом пилларирования ММ является увеличение расстояния между алюмосиликатными слоями в структуре глинистого минерала и появление дополнительных микро- и мезопор.  $\text{TiO}_2$ -пилларный ММ, обладает высокоразвитой удельной поверхностью, улучшенной сорбционной способностью и демонстрирует высокую активность в различных фотокаталитических процессах, в том числе при фотолизе органических красителей [8].

На кафедре технологии керамики и наноматериалов ИГХТУ предложен и успешно применен новый подход к синтезу пилларного монтмориллонита с  $\text{TiO}_2$  с высокой степенью кристалличности для пилларов (нанокристаллов)  $\text{TiO}_2$ , представляющих собой смесь фаз анатаза и рутила, и с улучшенной адсорбционной и фотокаталитической активностью как результат гидро-

термально активированной интеркаляции полигидроксикомплексами титана [9].

Идея комбинации алюмосиликатов и волокнистого материала для создания сорбирующих и фильтрующих изделий встречается в научно-технической литературе [10...14]. Предпосылкой к реализации варианта применения ММ в сочетании с волокном послужило успешное использование глинистых минералов для изменения свойств шерстяных текстильных материалов [15...17]. Выбор шерстяного волокна в качестве объекта для изучения обусловлен его сложным морфологическим и гистологическим строением, превосходящим все химические и природные волокна. Главной составной частью шерсти является белок, называемый кератином, представляющий собой природный полимер, имеющий амфотерный характер, составными звеньями которого являются аминокислоты [18]. Технология создания материала, "покрытого" (coated) алюмосиликатными частицами, позволяющая придать шерсти комплекс улучшенных потребительских и технологических свойств, была разработана на кафедре химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ.

Цель исследования состояла в получении композитов на основе волокнистых материалов (ВМ) и алюмосиликатов различных форм; оценке возможности закрепления на волокне частиц алюмосиликатов, а также сорбционной активности полученных композитов по отношению к органическим красителям.

#### *Методы*

В экспериментах использовали природный минерал – Даш-Салахлинский агломератовый бентонит, который имеет следующий химический состав, масс. %:  $\text{SiO}_2$ -57.70;  $\text{TiO}_2$ -1.04;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -13.75;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -5.36;  $\text{FeO}$ -0.20;  $\text{CaO}$ -2.49;  $\text{MgO}$ -3.13;  $\text{Na}_2\text{O}$ -1.74;  $\text{K}_2\text{O}$ -0.24;  $\text{P}_2\text{O}_5$ -0.16;  $\text{SO}_3$ -0.65;  $\text{BaO}$ -0.08; потери при прокаливании – 13.46. Основными "примесными" минералами являются кристобалит, кварц, плагиоклаз, кальцит и гипс; плотность 2,18 г/см<sup>3</sup>; ионообменная емкость – от 75 до 120 мг-экв/100 г глины [19]. Далее обозначен как не модифицированный бентонит (НБ).

Модификация природного минерала оксидом титана проводилась путем пилларирования, которое осуществляли гидротермально активированной интеркаляцией гидроксикомплексов титана [9].

Интеркалирующие растворы, содержащие поликатионы титана, готовили при комнатной температуре гидролизом хлорида титана в соответствии с методикой [20]. Интеркаляцию монтмориллонита полигидроксикомплексами титана проводили посредством ионного обмена в водной суспензии при покапельном введении интеркалирующего раствора и интенсивном перемешивании на магнитной мешалке в течение 3 ч при 20°C. В дальнейшем суспензию ММ и интеркалирующего раствора подвергли гидротермальной обработке в течение 5 ч при температуре 115°C и давлении 170 кПа с использованием автоклава с фторопластовым стаканом. Затем автоклав инерционно охлаждали до комнатной температуры. Интенсификация интеркаляции раствора полигидроксикомплексов титана в межслоевое пространство монтмориллонита в гидротермальных условиях при дальнейшем обжиге способствует формированию  $\text{TiO}_2$ -пилларного монтмориллонита с высокой степенью кристалличности пилларов (нанокристаллов)  $\text{TiO}_2$  с улучшенной адсорбционной и фотокаталитической активностью [9]. По окончании интеркаляции суспензию отмывали от ионов  $\text{Cl}^-$ , центрифугировали и подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 60°C.

Пилларные материалы получали прокаливанием интеркалированных образцов в печи при температуре 500°C в течение 3 ч. В дальнейшем они обозначены как модифицированный бентонит (МБ).

Полученные порошки алюмосиликатов закрепляли на поверхности текстильных волокон различной химической природы. В качестве объектов исследования в работе использованы волокнистые материалы: хлопчатобумажное (Хл), шерстяное (Ш), полиэфирное (ПЭ), полиамидное (ПА), полиакрилонитрильное (ПАН). С волокон химического происхождения и с шерсти предварительно в ходе промывки горячей водой в присутствии СМС были удалены возмож-

ные посторонние примеси. Хлопчатобумажное волокно предварительно отваривали и отбеливали для максимального удаления нецеллюлозных примесей. Обработка волокон алюмосиликатами проводилась при комнатной температуре в течение 30 мин при постоянном перемешивании из водной дисперсии, при модуле ванны  $M=100$ , после чего его отмывали от не закрепившихся частиц.

Количество порошка на материале контролировали гравиметрическим методом по разнице веса исходного и обработанного образцов. Параллельно были проведены СЭМ-исследования и элементный анализ поверхности на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3 SBH (увеличение  $\times 4000$ ), интегрированном с энергодисперсионным микроанализатором Bruker.

Через волокно с иммобилизованными на нем частицами монтмориллонита пропускали раствор красителя метиленового синего. Эффективность сорбции красителя контролировали по оптической плотности фильтрата ( $D$ ), определяемой на спектрофотометре U-2001 (Hatachi) до и после адсорбции.

#### Результаты и обсуждения

Доказательством фиксации частиц алюмосиликатов на волокне служит изменение массы материала до и после обработки, а также микрофотографии волокна. На рис. 1 представлены результаты, позволяющие оценить влияние природы волокнистого материала на эффективность фиксации алюмосиликатов на поверхности волокна.

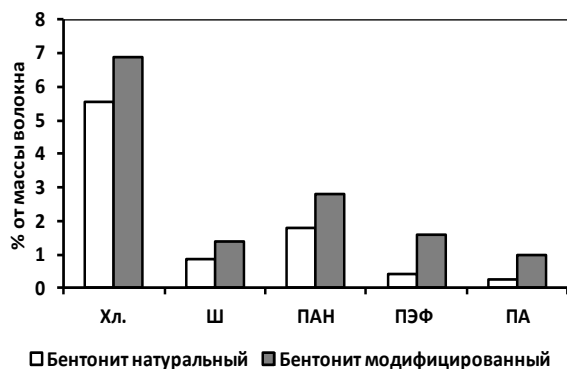


Рис. 1

На основании полученных данных по приросту массы в результате сорбции ММ волокна можно расположить в последовательности: Хл>ПАН>Ш>ПЭФ>ПА. При этом, независимо от природы волокна, на нем закрепляется больше МБ, чем НБ.

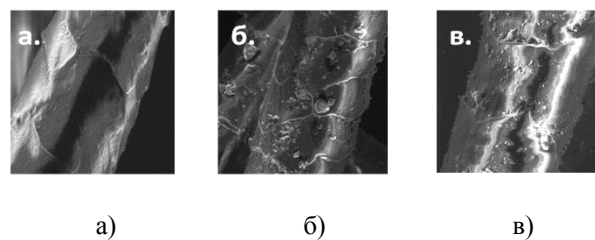


Рис. 2

На СЭМ-изображениях шерстяного волокна, приведенных на рис.2 (а – исходного; б – обработанного в дисперсии НБ; в – обработанного в дисперсии МБ волокон), кроме того, что четко видно, что порошки алюмосиликатов сорбируются и удерживаются на волокне, можно оценить равномерность распределения микрочастиц алюмосиликатов по его поверхности. НБ фиксируется в основном по краям и сколам чешуек шерсти. В отличие от него МБ равномерно распределяется по всей поверхности волокна.

Это свидетельствует о том, что при фиксации минералов на волокне большую роль играет поверхностный заряд волокон и частиц алюмосиликатов.

Поскольку бентонит в водной среде приобретает преимущественно отрицательный заряд [6], его частицы фиксируются на положительно заряженных краях чешуек и на микродефектах волокна, имеющих положительный заряд. В свою очередь, внутри кристаллов пилларных глин заряд распределяется более равномерно, чем у природных минералов, поэтому их частицы образуют равномерный слой по всей поверхности. В той или иной степени подобный эффект характерен и для остальных видов волокон, что и объясняет в конечном итоге превышение количества закрепленного на волокне МБ над НБ.

Присутствие большего количества модифицированного алюмосиликата на во-

локне, равномерность распределения микрочастиц по его поверхности, скомпенсированный заряд объясняет высокую сорбционную активность композиционных волокнисто-бентонитовых материалов (ВБМ) по отношению к органическим красителям. Особенно ярко выражен эффект на волокнах, которые без обработки минералами (нативными или модифицированными), не склонны к поглощению красителя, каким, например, является полиакрилонитрильное волокно.

На рис. 3 представлены спектры красителя метиленового синего, пропущенного через фильтрующий материал, изготовленный из полиакрилонитрильного волокна и волокон ПАН, модифицированных НБ и МБ. На спектральных кривых фильтратов по сравнению с исходным красителем наблюдается гипохромный сдвиг основной полосы поглощения ( $\lambda=660$  нм) – неболь-

шой для "чистого" волокна, и значительный – для ВБМ. Визуально это выражается в обесцвечивании раствора.

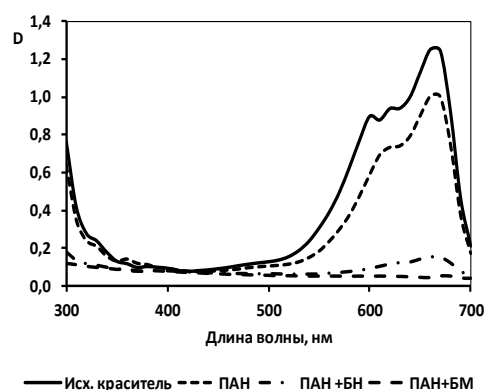


Рис. 3

Изменение оптической плотности раствора красителя метиленового синего после фильтрации через ВБМ из всех типов волокон представлено в табл. 1.

Таблица 1

Вид волокна	Остаточная концентрация красителя в растворе после фильтрации, % от исх.		
	Исх. вол	Вол.+НБ	Вол.+МБ
Хл	8,9	4,3	1,4
Ш	7,8	5,2	2,3
ПАН	90,5	10,4	4,8
ПЭ	95,4	10,0	4,3
ПА	94,9	93,2	53,4

Анализируя полученные результаты, отметили, что в разработанной композиционной системе в качестве матрицы наиболее эффективно проявили себя натуральные волокна (шерстяные и хлопчатобумажные). В отличие от синтетических, они частично удерживают краситель и без присутствия микрочастиц НБ и МБ. Но с иммобилизованным ММ эффективность очистки воды от красителя заметно повышается – в присутствии НБ и МБ в растворе остается не более 10 и 5% окрашивающего вещества соответственно. Синтетические волокна на основе полиэфира и полиакрилонитрила в сочетании с частицами алюмосиликатов также адсорбируют краситель. Исключением является материал на основе полиамида, но это хорошо коррелирует с тем фактом, что на его поверхности закрепля-

ется крайне малое количество алюмосиликатов (рис.1).

Кроме того, сравнение очистки растворов при иммобилизации на волокнах НБ и МБ доказали эффективность применения последнего. Пилларирование монтмориллонита заметно повысило его сорбционную емкость по отношению к метиленовому синему за счет формирования пористой структуры пилларного материала, обусловленной полимеризацией поликатионов титана и агрегацией пилларов в межслоевом пространстве монтмориллонита. Увеличение содержания в МБ наноразмерного оксида титана (табл.2) в форме пилларов, представляющие собой смесь фаз анатаза и рутила, в перспективе позволит обесцвечивать окрашенный волокнистый материал и решить таким образом проблему его безопасной утилизации.

Образец	Элемент, вес. %									
	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe
НБ	64.26	1.43	2.06	6.59	21.19	0.18	0.16	0.51	0.30	3.31
МБ	56.47	-	0.19	1.47	5.58	-	-	-	35.75	0.54

## ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования получены композиционные материалы посредством иммобилизации на волокнах различной химической природы частиц нативного и модифицированного бентонита. Это позволяет придать волокнистым композициям улучшенные сорбционные свойства по отношению к органическим красителям. При этом наиболее перспективным является сочетание натуральных волокон с частицами алюмосиликатов, для которого наблюдается синергетический эффект по сорбционной активности. В дальнейшем планируется развитие данного исследования в направлении усиления эффекта удаления красителя за счет применения аддитивного адсорбционно-фотокаталитического процесса с участием частиц  $TiO_2$ , а также испытания эффективности действия композиционного материала по отношению к реальному составу сточных вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Yamashita H., Li H. Eds. Nanostructured Photocatalysts: Advanced Functional Materials. – Springer: Berlin, Germany, 2016. doi 10.1007/978-3-319-26079-2
2. Zhao H.F., Li Y., Sha L.Z. Preparation of functional air filter material based on biodegradable fibers and nano titanium // Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. – Vol. 13, № 2, April - June 2018. P. 391...397.
3. Szczepanik B. Photocatalytic degradation of organic contaminants over clay- $TiO_2$  nanocomposites: A review, Appl. Clay Sci. – V.141, 2017. P. 227...239. doi: 10.1016/j.clay.2017.02.029
4. Vicente M.A., Gil A., Bergaya F. Pillared Clays and Clay Minerals. In Handbook of Clay Science, 2nd ed. – Elsevier: Amsterdam, Netherlands. – V. 5A, 2013. P. 523...557. doi:10.1016/B978-0-08-098258-8.00017-1
5. Kuschel B., Gille W., Schweiger W. Analysis of the morphology of hectorite by use of small-angle Xray scattering // Colloid Polym Sci. – V. 278, 2000. P.805...809.
6. Kon'kova T.V., Alekhina M.B., Mikhailichenko A.I., Kandelaki G.I., Morozov A.N. Adsorption proper-

ties of pillared clays // Prot. Met. Phys. Chem. Surf. – V.50 (3), 2014. P. 326...330.

7. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975.

8. Zhao B.X., Dang L.P., Zhang X.L., Yang N., Sun Y.Y. Preparation of  $TiO_2$ -Pillared Montmorillonite as Photocatalyst and Photocatalytic Degradation of Methyl Orange // Appl. Mech. Mater. – V.190–191, 2012. P.534...538.

9. Butman M.F., Ovchinnikov N.L., Karasev N.S., Kochkina N.E., Agafonov A.V., Vinogradov A.V. Photocatalytic and adsorption properties of  $TiO_2$ -pillared montmorillonite obtained by hydrothermally activated intercalation of titanium polyhydroxocomplexes // Beilstein J. Nanotechnol. – V.9, 2018. P.364...378. doi:10.3762/bjnano.9.36

10. Abidi N., Duplay J., Jada A. et al. Toward the understanding of the treatment of textile industries' effluents by clay: adsorption of anionic dye on kaolinite // Arabian Journal of Geosciences. – V.10, 2017. P.742...750.

11. Abidi N., Duplay J., Ayari F. et al. Adsorption of anionic dye on natural and organophilic clays: effect of textile dyeing additives // Desalination and water treatment. – V.54, 2014. P. 1...16.

12. Чвалун С. Н., Новокионова Л. А., Коробко А. П. и др. Полимер-силикатные наноккомпозиты: физико-химические аспекты синтеза полимеризацией in situ // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. Т. LII, № 5. С. 52...57.

13. Дащенко Н.В., Киселев А.М. Нанотекстиль: принципы получения, свойства и области применения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 2. С. 51...57.

14. Bergaya F., G. Theng B. K., Lagaly G. V. Developments in Clay Science // Handbook of Clay Science. – Amsterdam: Elsevier Science, 2006.

15. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Вельбой М.А. Улучшение потребительских свойств шерсти // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. Т.17, № 3. С. 91...95.

16. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Шамсудинова Повышение устойчивости шерстяного волокна к гниению при использовании нерастворимых алюмосиликатов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2013, № 1. С. 98...105.

17. Шамсудинова Э.Г., Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В. Применение алюмосиликатов для защиты шерстяного волокна от инсоляции // Вестник молодых ученых СПГУТД. – 2016, № 2. С.107...111.

18. Новорядовская, Т. С., Садова С.Ф. Химия и химическая технология шерсти. – М: Легпромбыт-издат, 1986.

19. Наседкин В.В. Даш-Салахлинское месторождение бентонита (становление и перспективы развития). – М.: ГЕОС, 2008. С. 85.

20. Sterte J. Synthesis and properties of titanium oxide cross-linked montmorillonite. *Clays Clay Miner.* – V.34., 1986. P.658...664. doi:10.1346/CCMN.1986.0340606

#### REFERENCES

1. Yamashita H., Li H. Eds. *Nanostructured Photocatalysts: Advanced Functional Materials.* – Springer: Berlin, Germany, 2016. doi 10.1007/978-3-319-26079-2

2. Zhao H.F., Li Y., Sha L.Z. Preparation of functional air filter material based on biodegradable fibers and nano titanium // *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures.* – Vol. 13, No. 2, April - June 2018. P. 391...397.

3. Szczepanik B. Photocatalytic degradation of organic contaminants over clay-TiO<sub>2</sub> nanocomposites: A review, *Appl. Clay Sci.* – V.141, 2017. P. 227...239. doi:10.1016/j.clay.2017.02.029

4. Vicente M.A., Gil A., Bergaya F. Pillared Clays and Clay Minerals. In *Handbook of Clay Science*, 2nd ed. – Elsevier: Amsterdam, Netherlands. – V. 5A, 2013. P. 523...557. doi:10.1016/B978-0-08-098258-8.00017-1

5. Kuschel B., Gille W., Schweiger W. Analysis of the morphology of hectorite by use of small-angle X-ray scattering, *Colloid Polym Sci.* – V. 278, 2000. P.805...809.

6. Kon'kova T.V., Alekhina M.B., Mikhailichenko A.I., Kandelaki G.I., Morozov A.N. Adsorption properties of pillared clays // *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.* – V.50 (3), 2014. P. 326...330.

7. Tarasevich Yu.I., Ovcharenko F.D. *Adsorption on clay minerals.* - Kyiv: Naukova Dumka, 1975.

8. Zhao B.X., Dang L.P., Zhang X.L., Yang N., Sun Y.Y. Preparation of TiO<sub>2</sub>-Pillared Montmorillonite as Photocatalyst and Photocatalytic Degradation of M-thyl Orange // *Appl. Mech. mater.* – V.190–191, 2012. P.534...538.

9. Butman M.F., Ovchinnikov N.L., Karasev N.S., Kochkina N.E., Agafonov A.V., Vinogradov A.V. Photocatalytic and adsorption properties of TiO<sub>2</sub>-pillared montmorillonite obtained by hydrothermally activated intercalation of titanium polyhydroxocomplexes

// *Beilstein J. Nanotechnol.* – V.9, 2018. P.364...378. doi:10.3762/bjnano.9.36

10. Abidi N., Duplay J., Jada A. et al. Toward the understanding of the treatment of textile industries' effluents by clay: adsorption of anionic dye on kaolinite // *Arabian Journal of Geosciences.* – V.10, 2017. P.742...750.

11. Abidi N., Duplay J., Ayari F. et al. Adsorption of anionic dye on natural and organophilic clays: effect of textile dyeing additives // *Desalination and water treatment.* – V.54, 2014. P. 1...16.

12. Chvalun, S.N., Novokshonova, L.A., Korobko, A.P., et al., Polymer-silicate nanocomposites: physico-chemical aspects of synthesis by in situ polymerization, *Ros. chem. and. (J. Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev).* - 2008. T. LII, No. 5. P. 52 ... 57.

13. Dashchenko N.V., Kiselev A.M. *Nanotextile: principles of production, properties and applications* // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* - 2007, No. 2. P. 51 ... 57.

14. Bergaya F., G. Theng B. K., Lagaly G. V. *Developments in Clay Science* // *Handbook of Clay Science.* – Amsterdam: Elsevier Science, 2006.

15. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Vel'boy M.A. Improvement of consumer properties of wool // *Izv. universities. Light industry technology.* – 2012. V.17, No. 3. P. 91...95.

16. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Shamsuddinova Increasing the resistance of wool fiber to decay using insoluble aluminosilicates // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (SMARTEX).* – 2013, No. 1. P. 98...105.

17. Shamsuddinova E.G., Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V. The use of aluminosilicates to protect wool fiber from insolation // *Bulletin of young scientists of the SPGUTD.* – 2016, No. 2. P.107...111.

18. Novoradovskaya, T. S., Sadova S.F. *Chemistry and chemical technology of wool.* - M: Legprombytizdat, 1986.

19. Nasedkin V.V. Dash-Salakhlin'skoye bentonite deposit (formation and development prospects). – М.: ГЕОС, 2008. P. 85.

20. Sterte J. Synthesis and properties of titanium oxide cross-linked montmorillonite. *Clays Clay Miner.* – V.34., 1986. P.658...664. doi:10.1346/CCMN.1986.0340606

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов. Поступила 12.11.21.