

7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

# **UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научный журнал  
Издается ежемесячно с декабря 2013 года  
Является печатной версией сетевого журнала  
Universum: технические науки

Выпуск: 6(123)

Июнь 2024

Часть 4

Москва  
2024

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

### СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕНТОНИТА

*Адизова Шоира Тоировна*

*докторант кафедры Общей и неорганической химии  
Бухарского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Бухара*

*Амонов Мухтар Рахматович*

*профессор,  
кафедры Общей и неорганической химии  
Бухарского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Бухара  
E-mail: [lyuba-ali-1988@mail.ru](mailto:lyuba-ali-1988@mail.ru)*

### SORPTION CHARACTERISTICS OF CHEMICALLY MODIFIED BENTONITE

*Shoira Adizova*

*Doctoral student  
of the Department of General and Inorganic Chemistry  
Bukhara State University,  
Republic of Uzbekistan, Bukhara*

*Mukhtor Amonov*

*Professor  
Department of General and Inorganic Chemistry  
Bukhara State University,  
Uzbekistan, Bukhara*

#### АННОТАЦИЯ

Сорбенты на основе природных глинистых материалов являются экологически безопасными и представляют большой интерес для исследований. Существенными достоинствами бентонитов являются: широкое распространение, доступность, дешевизна, зернистая структура, возможность путем химического и структурного модифицирования направленно изменять технологические показатели минерала. Отмеченные особенности глинистых минералов, совместно с их высокой дисперсностью, а потому и чрезвычайно развитой поверхностью, обуславливают также очень большую сорбционную емкость, т.е. способность активно поглощать из растворов различные ионы и вещества.

Выявлено о возможности получения высокоэффективных сорбентов из бентонитовых глин Навбахорского месторождения химическими и термохимическими методами модифицирования. Изучены изотермы адсорбции меди (II) и цинка (II) на исследуемых бентонитах. Установлены текстурные характеристики обогащенных бентонитов. Определено значение количество адсорбции различных ионов на исследуемых бентонитах.

#### ABSTRACT

Sorbents based on natural clay materials are environmentally friendly and are of great interest for research. The significant advantages of bentonites are: wide distribution, availability, low cost, granular structure, and the ability to purposefully change the technological parameters of the mineral through chemical and structural modification. The noted features of clay minerals, together with their high dispersion, and therefore extremely developed surface, also determine a very large sorption capacity, i.e. the ability to actively absorb various ions and substances from solutions.

It has been revealed that it is possible to obtain highly effective sorbents from bentonite clays of the Navbakhor deposit using chemical and thermochemical modification methods. The adsorption isotherms of copper (II) and zinc (II) on the studied bentonites were studied. The textural characteristics of enriched bentonites have been established. The value of the amount of adsorption of various ions on the studied bentonites was determined.

**Ключевые слова:** бентонитовая глина, сорбент, сточная вода, термохимическая модификация, эффективность, поверхность, поглощения, очистка, изотермы адсорбции, текстурная характеристика.

**Keyword:** bentonite clay, sorbent, wastewater, thermochemical modification, efficiency, surface, absorption, purification, adsorption isotherms, textural characteristics.

Высокоэффективные природные бентониты находят широкое применение при решении многих экологических проблем. Интенсивное развитие таких отраслей промышленности, как газо- и нефтеперерабатывающая, химическая и текстильная может привести к нарушению равновесия между возможностями восстановления горноприродно-климатических условий нашей страны и производственной деятельностью. Эти отрасли промышленности используют большое количество водных ресурсов. Используемые непосредственно в технологических процессах воды содержат достаточное количество ионов тяжелых металлов и вредных веществ.

В связи с этим решение по очистке промышленных сточных вод требует поиска новых, научно обоснованных методов безотходной технологии переработки местного сырья, очистки промышленных сточных вод и изыскания возможности их повторного использования в производстве для технологических нужд. Выбор метода очистки сточных вод зависит от ряда факторов — вида и осуществления технологических процессов, особенности источников загрязнения (производственные, бытовые, атмосферные, химические), состава сточных вод и т.д. [1-2].

Для успешного решения проблем по выявлению сорбентов из местного сырья требуется поиск новых, энерго- и ресурсосберегающих безотходных технологий переработки местного сырья, как важным экономически выгодным сырьём для глубокой очистки промышленных сточных вод. Выбор сорбентов зависит не только от химического состава производственных, хозяйственно-бытовых сточных вод но также зависит и от физико-химических свойств загрязнителей, возможности применения их как эффективных сорбентов при очистки сточных вод производств. Эффективными сорбентами являются активированные угли различных марок. Пористость этих углей составляет 70-75%, а удельная площадь поверхности колеблется в пределах 550-850 м<sup>2</sup>. Адсорбционные свойства активированных углей в значительной мере зависят от структуры пор, их величины, распределения по размерам. С теоретической точки зрения активность сорбента характеризуется количеством поглощаемого вещества на единицу объема или массы сорбента (кг/м<sup>3</sup>, кг/кг). Необходимо отметить, что при получении активированных углей требуется специальные оборудования и технологии, а это подтверждает о сложности

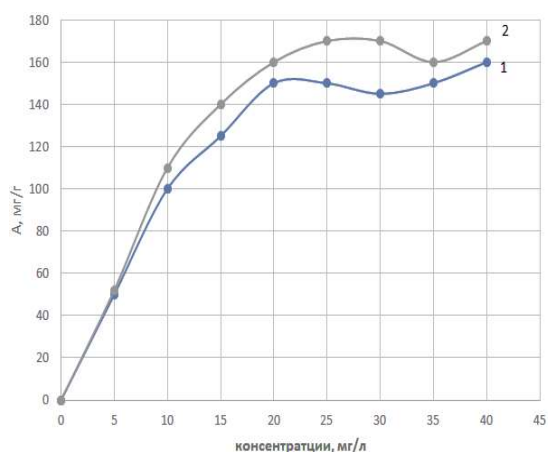
осуществления получения готового продукта и в промышленном масштабе выпускается малотоннажно [3-5].

В связи с этим в данной статье рассматривается вопрос о возможности переработки природных бентонитовых глин путем химических и термохимических модификаций с последующим получением высокоэффективных сорбентов.

В качестве сорбента был выбран бентонит юго-запада Навбахорского района Навоийской области. Изучение механизма адсорбции неорганических и органических веществ на бентонитовых глинах с различными обменными катионами в составе адсорбентов имеет специфический характер и протекание этого процесса можно объяснить не только с позиции ионного обмена, но и с позиции координационного механизма с образованием полярных водородных связей. Очистка промышленных сточных вод от различных вредных веществ и создание замкнутых циклов водооборота, на сегодняшний день является чрезвычайно актуальной задачей в решении охраны водного бассейна от загрязнений [5].

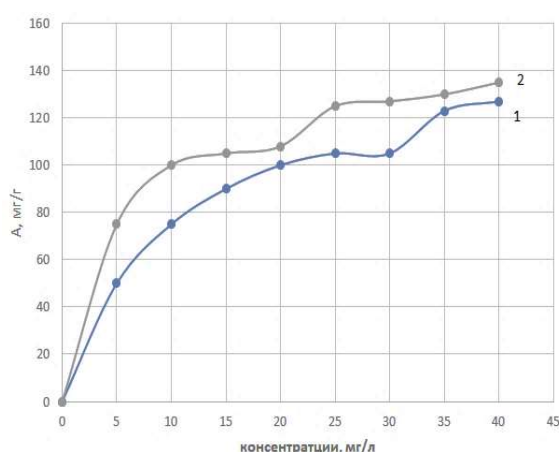
Как нам известно, явление сорбции — процесс обратимый, т.е. адсорбированное вещество может переходить с сорбента обратно в раствор. При прочих равных условиях скорости протекания прямого (сорбция) и обратного (десорбция) процессов пропорциональны концентрации веществ в растворе и на поверхности сорбента. Поэтому в первые моменты сорбции, т.е. при максимальной концентрации вещества в растворе, скорость сорбции также максимальна. По мере повышения концентрации растворенного вещества на поверхности сорбента увеличивается число сорбированных молекул, переходящих обратно в раствор. Если после достижения адсорбционного равновесия несколько повысить концентрацию обрабатываемого раствора, то сорбент сможет извлечь из сточной воды еще некоторое количество растворенного вещества. Однако нарушаемое таким образом равновесие будет восстанавливаться лишь до полного использования сорбционной способности данного сорбента, после чего повышение концентрации вещества в растворе не изменяет величины адсорбции [6-7].

На рис. 1 и 2 приведены изотермы адсорбции меди (II) и цинка (II) (условия процесса  $t=30\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $pH=7$ ) на исследуемых бентонитах.



**Рисунок 1. Изотермы адсорбции Zn<sup>2+</sup> на:**  
1) щелочного бентонита;  
2) щелочно-земельного бентонита

Как можно увидеть из изотермы адсорбции, щелочной бентонит характеризуется более высокими значениями количества адсорбции A (мг/г) и его значение составляет 137 и 165 мг/л, соответственно по отношению к Zn<sup>2+</sup> и Cu<sup>2+</sup> при равновесной концентрации 30 мг/л. Для щелочного бентонита изотермы адсорбции демонстрируют выраженный ступенчатый профиль, в отличие от щелочно-земельного бентонита, где наблюдается более равномерное нарастание концентрации при увеличении значений равновесной концентрации на абсциссе. Сначала была проведена первичная очистка глины от крупных примесей и иных видимых загрязнений и высушивание в сушильном шкафу при температуре 100±5 °С до полного отсутствия влаги. Затем измельченная глина заливалась дистиллированной водой и оставалась в покое на 24 часа для набухания. Затем в систему вводится достаточное количество воды (не менее 1:5 от объема системы) и перемешивалась в течение 20 мин. Через 20 минут после перемешивания произведена



**Рисунок 2. Изотермы адсорбции Cu<sup>2+</sup> на:**  
1) щелочного бентонита;  
2) щелочно-земельного бентонита

декантация из верхнего 10-сантиметрового слоя суспензии для отделения песчаных частиц бентонита. Верхний слой, собранный в другой емкости осаждается и верхний осветленный слой воды сливается, оставив на дне осадок. В полученный осадок добавляется 10% раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в объемном соотношении 1:2 и перемешивается в течение 1 часа при температуре 50-60°С. После чего полученная масса оставляется в покое 2 часа, затем твердая фаза отделяется от жидкой центрифугированием, промывается дистиллированной водой 3-4 раза, и высушивается при температуре 100±5 °С до полного отсутствия влаги. Таким образом, изменения в химическом составе, вызванные обогащением, могут усилить адсорбционные свойства и улучшить текстурные характеристики бентонитовых глин, делая их более эффективными в различных назначениях полифункционального характера. Это свойство также подтверждается изменением значений текстурных характеристик (табл. 1).

**Таблица 1.**

**Текстурные характеристики обогащенных бентонитов**

Образец	S уд, м <sup>2</sup> /г	R, нм	ΣV, см <sup>3</sup> /г
Щелочной бентонит	69,4	3,47	0,219
Щелочно-земельный бентонит	58,7	3,83	0,194

Удельная поверхность образца щелочного бентонита увеличилась с 50,2 до 69,4 м<sup>2</sup>/г при обогащении (прирост в 19 м<sup>2</sup>/г или около 34%), в то время как для щелочно-земельного бентонита прирост составляет 16,3 м<sup>2</sup>/г или около 41%. Средний радиус пор (R) у первого образца уменьшился с 41,24 Å (4,136 нм) до 3,47 нм (уменьшение в 0,667 нм или уменьшение на 12%). Также наблюдается увеличение общего объема пор: для щелочного бентонита увеличивается с 0,20 до 0,219 см<sup>3</sup>/г, а для образца щелочно-земельного бентонита до 0,194 см<sup>3</sup>/г [8-9].

Динамика коллоидных дисперсий, включающая глинистые и (гидр)оксидные частицы, представляет

собой сложный процесс. Под воздействием определенных условий частицы глины и (гидр)оксидов могут сочетаться, формируя составные структуры при определенном уровне pH. В результате в дисперсии образуются композитные частицы, где (гидр)оксиды формируют покрытие на глинистом основании. Далее приводятся результаты исследования процессов модификации образцов бентонитов с растворами различных солей для улучшения их адсорбционных и текстурных характеристик. Для этого готовили суспензию 20 г обогащенного бентонита в 400 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при перемешивании в течение 1,5-2 часов. Затем получали 100 см<sup>3</sup> раствора, содержащего смесь солей:

1. 0,541 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0,406 г  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и 0,198 г  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
2. 0,438 г  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0,488 г  $\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и 0,198 г  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Для проведения данного эксперимента взвешенные соли до точности 0,001 г разводились в 50 мл дистиллированной воды и тщательно перемешивались до полного растворения. Затем их объем доводился до 100 см<sup>3</sup> путем добавления дополнительной воды. Этот раствор солей постепенно вводили в активно перемешиваемую суспензию одновременно с добавлением 0,5 М NaOH, при этом pH суспензии поддерживали в диапазоне 9-11. После этого pH смеси корректировали до 10 и оставляли на 6 часов при комнатной температуре. Полученный осадок отфильтровывали, многократно промывали дистиллированной водой до полного отсутствия  $\text{Cl}^-$  и сушили при температуре 105°C. В завершение материал подвергали термообработке при 300°C на протяжении 1,5-2 часов. Эта термическая обработка стабилизировала структуру композита, снижая его способность к набуханию в воде и обеспечивая легкое отделение методами фильтрации или центрифугирования, в отличие от обычного бентонита. По сути, при термообработке композит терял только связанную воду, в то время как структурные  $\text{OH}^-$  группы оставались нетронутыми и могли действовать как адсорбционные центры. Для исследования обработанный композит измельчался в ступке из агата и процеживался через сито с ячейками в 120 меш [10-11].

Образец термохимический модифицированный щелочной бентонит (ТХМШБ) имеет наибольшую удельную поверхность (146,097 м<sup>2</sup>/г), что на 89,2% больше по сравнению с образцом щелочного бентонита и на 138,5% больше по сравнению с образцом щелочно-земельного бентонита.

Модификация привела к уменьшению размера пор в большинстве образцов, что может свидетельствовать о повышении плотности структуры бентонита. Среди модифицированных образцов, ТХМШБ показал наименьший размер пор (3,008 нм), что делает его структуру более компактной по сравнению с другими образцами.

Модифицированные образцы также показали увеличение общего объема пор по сравнению с обогащенными не модифицированными образцами. Образец ТХМШБ показал наибольший общий объем пор (0,354 см<sup>3</sup>/г), что на 60,2% больше по сравнению с образцом щелочного бентонита и на 74,4% больше по сравнению с образцом щелочно-земельного бентонита.

Если процесс адсорбции ионов тяжелых металлов в обогащенном бентоните осуществляется путем обмена катионов, то в модифицированных бентонитах

процесс протекает путем образования химических связей в виде комплексных соединений. Если же процесс в модифицированных образцах также протекает путем ионного обмена, то это должно привести к вымыванию оксидов и гидроксидов  $\text{Fe}^{3+}$ . Однако исследование химико-минералогического состава использованных модифицированных бентонитов показало определенную их устойчивость.

Полученные данные показывают, что модификация с помощью второго раствора, содержащего ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , не вызывает изменений в кинетике адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  из раствора. Время достижения адсорбционного равновесия в этой системе практически идентично результатам, которые были представлены ранее [12].

На рис. 3 и 4 представлены изотермы адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в нейтральной среде на исследуемых сорбентах. Условия процесса включают температуру  $t=25\pm 1^\circ\text{C}$  и  $\text{pH}=7$ . Данные изотермы позволяют оценить зависимость между концентрацией ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе и их адсорбцией на сорбентах.

Сравнение адсорбции ионов меди на обогащенных бентонитах (щелочной бентонит и щелочно-земельной бентонит) и их модифицированных формах показывает следующие результаты. Для химически модифицированного щелочного бентонита (ХМШБ) начальная адсорбция ионов меди наблюдается при концентрации 3 мг/л и достигает значения 25 мг/г. Дальнейшая адсорбция продолжает возрастать, достигая максимального значения в 128 мг/г при равновесной концентрации 50 мг/л.

В случае щелочного бентонита, модифицированная форма (ХМШБ) демонстрирует наивысшую эффективность адсорбции ионов меди среди трех модифицированных форм. Аналогично для щелочно-земельного бентонита, химически модифицированная форма также показывает лучшие результаты. В целом, модифицированные формы ХМШБ и ХМШЗБ проявляют более высокую эффективность адсорбции по сравнению с другими модифицированными формами для обоих бентонитов. Формы термически модифицированного щелочного бентонита (ТМШБ) и термически модифицированного щелочно-земельного бентонита (ТМШЗБ) также имеют некоторую адсорбционную способность, но незначительно ниже, чем у ХМШБ и ХМШЗБ соответственно. Модифицированный бентонит ХМШБ имеет примерно в 3 раза большую сорбционную способность по ионам  $\text{PO}_4^{3-}$  в сравнении с исходными алюмосиликатами.

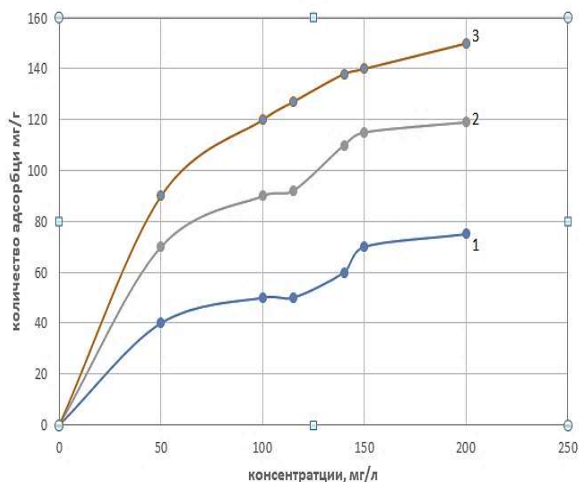


Рисунок 3. Изотермы адсорбции  $PO_4^{3-}$  на образцах:  
1) ХМШБ;  
2) ТХМШБ; 3) ТМШБ

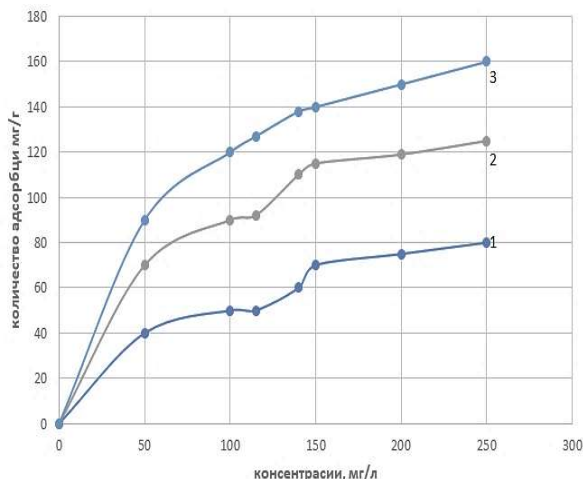


Рисунок 4. Изотермы адсорбции  $PO_4^{3-}$  на образцах: 1) ХМШЗБ;  
2) ТХМШЗБ; 3) ТМШЗБ

Таблица 2.

**Значения количества адсорбции неорганических ионов на исследуемых материалах**

Адсорбаты	ТМШБ	ТМШЗБ	ХМШБ	ХМШЗБ	ТХМШБ	ТХМШЗБ
$Cu^{2+}$	106,5	106,4	126,4	119,6	113,4	137,4
$PO_4^{3-}$	66,7	91,3	143,2	128,3	121,6	128,2

Анализ данных из табл. 2 показывает, что модифицированные бентониты ХМШБ, ХМШЗБ, ТХМШБ и ТХМШЗБ демонстрируют улучшенную адсорбционную активность по сравнению с исходными образцами ТМШБ и ТМШЗБ для обоих типов адсорбатов –  $Cu^{2+}$  и  $PO_4^{3-}$ . Среди всех исследуемых образцов ХМШБ обладает наивысшей адсорбционной активностью к  $Cu^{2+}$  и  $PO_4^{3-}$ . Эти результаты свидетельствуют о том, что процесс модификации бентонита способствует повышению его адсорбционных свойств, особенно в отношении неорганических ионов [13].

Установлено, что эффективность адсорбции неорганических ионов  $Cu^{2+}$  и  $PO_4^{3-}$  на модифицированных бентонитах ХМШБ, ХМШЗБ, ТХМШБ

и ТХМШЗБ существенно превышает адсорбционные способности исходных образцов ТМШБ и ТМШЗБ при низком pH (pH=2). Модифицированный бентонит ТХМШБ обладает наибольшим потенциалом адсорбции  $Cu^{2+}$ , в то время как ХМШБ демонстрирует высокую эффективность в адсорбции  $PO_4^{3-}$ . Установлено, что модификация бентонитов с использованием растворов пленкообразующих катионов, таких как ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  и  $Mn^{2+}$ , приводит к значительному увеличению их адсорбционной способности в отношении паров воды, а с ионами  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  по отношению к парам бензола. Это подчеркивает важность ионного состава растворов для модификации в зависимости от целевых адсорбционных задач.

**Список литературы:**

1. Файзуллаев Н.И., Мамадолиев И.И. Юкори кремнийли цеолитнинг фаолланиш шароитини макбуллаштириш // Научный вестник Самаркандского государственного университета. 2019. № 3 (115). С. 8-12.
2. Mamadoliev Ikromjon Ilkhomidinovich. Study Of The Sorption And Textural Properties of Bentonite And Kaolin // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences Scientific journal 2019. № 11–12. P. 33-38.
3. Mamadoliev I.I., Fayzullaev N.I. Optimization of the Activation Conditions of High Silicon Zeolite // International Journal of Advanced Science and Technology IJAST Journal. 2020. Vol. 29, No. 03, P. 6807 – 6813 (Scopus)
4. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физ.мат.литературы, 1961. – 640 с.
5. Михеев В.Н. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат. 1957. – 868 с.
6. Amonova M.M. Study of the kinetics of sedimentation of wastewater particles. Uzbek chemical journal. 2018. No. 6, P. 20-26.
7. Amonova M.M., Ravshanov K.A. Polymeric composition for purification of wastewater from various impurities in textile industry. Journal of chemistry and chemical technology. 2019. Vol. 62. No. 10, P.147-153.

8. Амонова М.М. Особенности комплексной очистки сточных вод текстильных предприятий // Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. 2022. Vol.10. No.11, P. 65-71.
9. Амонова М.М. Эффективный комплексный подход очистки сточных вод текстильных и шелкомотальных предприятий // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. 11(80). С. 14-18.
10. Amonova M.M. The Application Of Coagulants And Adsorbents For Textile Production Waste Water Purification // Journal of Pharmaceutical Negative Results 2022. Vol.12. No.8, P. 4740-4746.
11. Amonova M.M.,&Ravshanov K.A. Study of the electrokinetic characteristics of flocculants and dispersed contaminants of wastewater from separate production. Composites materials. 2019. No. 1, P. 103-106.
12. Amonova M.M.,&Ravshanov K.A. Study of the concentration of mineral sorbents in the purification of waste water of textile production. Compositional materials. 2019. No. 3, P. 86-90.
13. Umurov F., Amonova M.,&Amonov M. Combined method of wastewater treatment of silk-winding products. 2021. No. 25(4), P. 38-43. Retrieved from <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-4-38-43>. Ecology and Industry of Russia. Russia.