 © Авторы статьи / Authors of the article

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.6 EDN: ZQFUGV

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Научная статья

Харлямов Д.А.[1, *], Мифтахов М.Н.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-7728-4502;
[2] ORCID : 0000-0002-9875-4163;
[1, 2] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережные Челны, Российская Федерация
[2] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (chem_ineka[at]inbox.ru)

Предложена: 16.10.2023; Принята: 23.01.2024; Опубликована: 18.03.2024

Аннотация

В рамках представленной работы исследованы физико-химические и сорбционные свойства модифицированных отходов целлюлозно-бумажной промышленности – скопа. Модификацию проводили путем термообработки исходного скопа при температурах 300, 325, 350 и 375°С, после чего образцы подвергали ультразвуковой обработке. В статических условиях проведены эксперименты по очистке модельных растворов, содержащих ионы Cu^{2+}, Cr^{6+} и Fe^{3+} с применением модифицированных образцов скопа, рассчитана степень сорбции по отношению к рассматриваемым ионам тяжелых металлов. Установлено, что высокотемпературная обработка рассматриваемых отходов повышает эффективность очистки модельных растворов от ионов тяжелых металлов: например, степень сорбции ионов Cu^{2+} после термообработки при 325°С составила 82%, что более чем на 50% больше, чем у образца скопа, который не подвергался воздействию высоких температур; степень сорбции ионов Cr^{2+} – 86%, ионов Fe^{3+} – 70%. Установлено, что модификация термообработанного скопа ультразвуковыми колебаниями в течение короткого времени (не более 5 мин) приводит к увеличению степени сорбции в среднем на 6%, при увеличении продолжительности ультразвуковой обработки до 20 минут – степень сорбции снижается до 10%.

Ключевые слова: отходы целлюлозно-бумажной промышленности, скоп, очистка воды, ионы тяжелых металлов, адсорбция, сорбционный материал.

USE OF MODIFIED WASTE PAPER RECYCLING MATERIALS FOR WASTEWATER TREATMENT FROM HEAVY METAL IONS

Research article

Kharlyamov D.A.[1, *], Miftakhov M.N.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-7728-4502;
[2] ORCID : 0000-0002-9875-4163;
[1, 2] Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation
[2] Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (chem_ineka[at]inbox.ru)

Suggested: 16.10.2023; Accepted: 23.01.2024; Published: 18.03.2024

Abstract

Within the framework of the presented work, the physicochemical and sorption properties of modified wastes of pulp and paper industry – shavings were studied. Modification was carried out by heat treatment of initial shavings at temperatures of 300, 325, 350 and 375°C, after which the samples were subjected to ultrasonic treatment. Experiments on purification of model solutions containing Cu^{2+}, Cr^{6+} and Fe^{3+} ions using modified shavings samples were carried out under static conditions, the degree of sorption with respect to the examined heavy metal ions was calculated. It was found that high-temperature treatment of the studied wastes increases the efficiency of purification of model solutions from heavy metal ions: for example, the degree of sorption of Cu^{2}+ ions after heat treatment at 325°C was 82%, which is more than 50% higher than that of the shavings sample, which was not exposed to high temperatures; the degree of sorption of Cr^{2+} ions – 86%, Fe^{3+} ions – 70%. It was established that modification of heat-treated shavings with ultrasonic vibrations for a short time (not more than 5 min) leads to an increase in the degree of sorption by 6% on average, while increasing the duration of ultrasonic treatment up to 20 minutes – the degree of sorption decreases to 10%.

Keywords: pulp and paper industry waste, shavings, water treatment, heavy metal ions, adsorption, sorption material.

Введение

Ежегодно в процессе производства бумаги и картона фильтры водоочистных сооружений на целлюлозно-бумажных комбинатах собирают и аккумулируют большое количество отходов скопа, которые далее размещаются на временных площадках или специализированных полигонах, занимая огромные площади. Основные перспективные направления применения скопа были описаны ранее в работах [1], [2], [3], [4]. В свою очередь, отходы скопа могут

 © Авторы статьи / Authors of the article

быть использованы для решения проблем связанных с очисткой сточных вод от различных загрязняющих веществ путем применения этих отходов в качестве сорбционного материала [5], [6].

Сорбционный материал, полученный из скопа, обладает преимуществом относительной дешевизны, а его использование в перспективе снижает негативное воздействие на окружающую среду [7]. Для улучшения сорбционных характеристик отходов скопа в рамках представленной работы были применены хорошо известные методы физической модификации сорбционных материалов: высокотемпературная термическая обработка [8], [9], [10] и воздействие ультразвуковыми колебаниями [11], [12], [13].

Материалы и методы исследования

Образцы скопа были отобраны на временной площадке хранения отходов на территории целлюлозно-бумажного комбината и подготовлены в соответствии с методикой [14]. Исследованию сорбционных свойств скопа и продуктов его переработки предшествовало определение его основных физико-химических характеристик: влажности, насыпной плотности, водородного показателя (pH), удельной электрической проводимости (УЭП) и общей минерализации (сухого остатка) водных вытяжек. Измерение общей минерализации, удельной электропроводности и pH водного экстракта скопа и модифицированных сорбционных материалов на его основе производили с применением комбинированного прибора марки «Анион 7051» в соответствии с инструкцией к прибору.

Влажность образцов скопа измеряли с помощью влагомера марки «AND ML-50» по методике [15]. Определение содержания органической части проводили методом озоления в соответствии с методикой [16], для чего образцы исходного скопа высушивали при температуре 100-105°C, далее выдерживали в муфельной печи до полного золообразования при температуре 500°C. Для получения сорбционных материалов скоп подвергали термической обработке в муфельной печи при температурах ниже полной зольности (300, 325, 350 и 375°C). Эффективность сорбции термообработанных образцов скопа, определяли с использованием модельных растворов, содержащих ионы тяжелых металлов (Cu^{2+}, Cr^{6+} и Fe^{3+}) в соответствии с [17], [18].

Ультразвуковую обработку скопа проводили в ультразвуковой ванне марки «Сапфир» при частоте 35 кГц и температуре 25°C в течение 5, 10 и 20 минут. Исследование сорбционных характеристик образцов, полученных в результате физической модификации, выполняли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра марки «Agilent 720 ICP-OES» согласно методике [19].

Основные результаты и обсуждение

На начальном этапе были проведены исследования физико-химических свойств исходного скопа. Плотность влажного и сухого образцов скопа составила 490 кг/м^3 и 294 кг/м^3 соответственно. Во влажном (свежем) скопе органическая часть составляет 22%, а неорганическая – 18%. В пересчете на сухую массу (высушенную при температуре 100 – 105 °C) на органическую часть в сухом скопе приходится около 55% от общей массы, а на неорганическую – 45%. Результаты измерений показателей общей минерализации, удельной электрической проводимости и pH водных экстрактов скопа представлены в таблице 1.

На следующем этапе работы были исследованы сорбционные свойства различных образцов скопа по отношению к ионам тяжелых металлов: Cu^{2+}, Cr^{6+} и Fe^{3+}. Результаты исследования сорбционных характеристик образцов скопа приведены в таблице 2.

Таблица 1 - Показатели общей минерализации, электропроводности и pH водных экстрактов скопа

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.6.1

Наименование образца	УЭП ± Δ, мкСм/см	Минерализация (по NaCl) ± Δ, мг/дм^3	pH ± Δ, ед. pH
Скоп^a	313±15	150±8	7,9±0,2
Скоп^c	960±50	471±24	7,2±0,2

Примечание: Скоп^a - исходный образец скопа; Скоп^c – сорбционный материал, полученный путем обработки исходного скопа при температуре 325°C

По результатам измерений концентраций ионов тяжелых металлов в исходном растворе и остаточных концентраций после контакта исследуемых образцов с модельным раствором была рассчитана степень сорбции. Установлено увеличение показателя степени сорбции у образцов подвергнутых термической обработке, что согласно литературным данным [20], может быть связано с изменением структуры сорбционных материалов. Оптимальную степень сорбции показали образцы скопа, полученные при температуре термообработки 325°C.

Таблица 2 - Результаты очистки модельных растворов с применением различных образцов скопа

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.6.2

Наименование образца	Концентрация до адсорбции (мг/л)			Концентрация после адсорбции (мг/л)			Степень сорбции, %		
	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}
Скоп^a	63,0	14,3	30,0	45,0	9,4	23,2	29	34	23

 © Авторы статьи / Authors of the article

Наименование образца	Концентрация до адсорбции (мг/л)			Концентрация после адсорбции (мг/л)			Степень сорбции, %		
	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}
Скоп[b]				42,0	3,1	11,4	33	78	61
Скоп[c]				11,4	1,9	9,0	82	86	70
Скоп[d]				9,6	2,3	18,4	85	83	38
Скоп[e]				11,2	2,6	15,5	82	82	48

Примечание: Скоп[b] - сорбционный материал, полученный путем обработки исходного скопа при температуре 300°С; Скоп[d] - сорбционный материал, полученный путем обработки исходного скопа при температуре 350°С; Скоп[e] - сорбционный материал, полученный путем обработки исходного скопа при температуре 375°С

Для выявления влияния ультразвука на сорбционную активность, образец скопа, обработанный при температуре 325°С, подвергали воздействию ультразвуковых колебаний мощностью 150 Вт/см^2 и частотой 35 кГц в водной среде в течении различных временных промежутков (5, 10 и 20 минут). После ультразвуковой обработки исследовали сорбционные свойства образцов скопа согласно методике [19] и далее рассчитывали степень сорбции. Результаты очистки модельных растворов от ионов тяжелых металлов образца Скоп[c] после ультразвуковой обработки приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты сорбционной очистки модельных растворов с применением образца скопа после ультразвуковой обработки

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.6.3

Время обработки, мин	Концентрация до адсорбции (мг/л)			Концентрация после адсорбции (мг/л)			Степень сорбции, %		
	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Cr^{6+}	Fe^{3+}
5	63,0	14,3	30,0	7,40	1,25	6,80	88	91	77
10				12,3	2,40	10,7	80	83	64
20				15,5	3,10	12,4	75	78	59

По результатам проведенных экспериментов было установлено, что ультразвуковая обработка образца скопа в течении 5 минут приводит к незначительному увеличению степени извлечения ионов тяжелых металлов, степень сорбции при этом возрастает в среднем на 6%. При увеличении времени обработки ультразвуковыми колебаниями до 10 минут степень сорбции снижается более чем на 4%; при 20 минутной ультразвуковой обработки – степень сорбции снижается на 10% по сравнению с исходным образцом.

Заключение

В рамках представленной работы были изучены физико-химические и сорбционные свойства образцов модифицированных отходов скопа. На первоначальном этапе скоп подвергался термической обработке при температурах 300, 325, 350 и 375°С. Дальнейшую модификацию термообработанных образцов проводили под воздействием ультразвуковых колебаний с постоянной мощностью и частотой. После каждого этапа модификации были определены физико-химические характеристики скопа, а также сорбционные свойства по отношению к ионам Cu^{2+}, Cr^{6+} и Fe^{3+}. Установлено, что высокотемпературная обработка образцов скопа повышает эффективность очистки модельных растворов от ионов тяжелых металлов: степень извлечения ионов Cu^{2+} составила 82%, ионов Cr^{6+} – 86%, ионов Fe^{3+} – 70%. Установлено, что дальнейшая модификация скопа ультразвуковыми колебаниями приводит к незначительному увеличению степени сорбции (в среднем на 6% при 5 минутном воздействии ультразвука). При увеличении продолжительности ультразвуковой обработки до 20 минут наблюдается снижение (до 10%) показателя степени сорбции по сравнению с исходным образцом.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рассматривать модифицированные образцы скопа как перспективный материал для очистки загрязненных водных растворов от ионов тяжелых металлов. Использование скопа в качестве сорбционного материала позволит сократить количество отходов, отправляемых на утилизацию, что в свою очередь должно привести к снижению платы за негативное воздействие на окружающую среду при размещении отходов на специализированных полигонах.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы / References

1. Мифтахов М.Н. Перспективы утилизации скопа – отхода картонно-бумажного производства / М.Н. Мифтахов // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. — 2015. — № 6-1. — С. 26-27.

2. Чулкова И.Л. Использование скопа в качестве вяжущего вещества / И.Л. Чулкова, И.А. Селиванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. — 2021. — Т. 18. — № 2 (78). — С. 204-215.

3. Новожилов Е.В. Характеристика скопа, образующегося при локальной очистке волокносодержащих сточных вод / Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, Е.В. Белых [и др.] // Химия растительного сырья. — 2014. — № 4. — С. 279-286.

4. Баталин Б.С. Использование скопа для обеспечения гигиенической безопасности жилых помещений / Б.С. Баталин, И.А. Козлов // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. — С. 104.

5. Свергузова С.В. Использование отхода переработки макулатуры в качестве сорбционного материала для удаления красителя "метиленовый голубой" из модельных растворов / С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, И.Г. Шайхиев [и др.] // Российский химический журнал. — 2023. — Т. 67. — № 2. — С. 67-73.

6. Мифтахов М.Н. Исследование сорбционных свойств модифицированных сорбентов, полученных из отходов целлюлозно-бумажной промышленности – скопа / М.Н. Мифтахов, Д.В. Махнюк // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. — 2020. — № 3 (86). — С. 21-28.

7. Шибека Л.А. Эффективность применения скопа в процессах очистки сточных вод от красящих веществ / Л.А. Шибека, В.О. Синькевич // Природопользование и экологические риски. Материалы научно-практической конференции. — 2019. — С. 344-346.

8. Denisova T.R. Material Performance of Nickel Ions Adsorption by Larix Sibirica Needles / T.R. Denisova, D.A. Kharlyamov, I.G. Shaikhiev [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. — 2018. — Vol. 7. — P. 219.

9. Kharlyamov D.A. Adsorption of Oil Products Using Modified Woodworking Waste / D.A. Kharlyamov, G.V. Mavrin, I.F. Suleimanov // Eurasian Chemical Communications. — 2020. — Vol. 2. — № 11. — P. 1110-1116.

10. Дремичева Е.С. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод промышленных предприятий / Е.С. Дремичева // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23. — № 4. — С. 16-19.

11. Харлямов Д.А. Физико-химические и сорбционные свойства композиционных материалов на основе отходов деревообработки и синтетического магнетита / Д.А. Харлямов, Т.Р. Денисова, Г.В. Маврин [и др.] // Вода: химия и экология. — 2018. — № 10-12 (117). — С. 119-125.

12. Denisova T.R. The Influence of Linden (tã lia cordã ta) Sawdust Ultrasound Treatment on Oil Sorption Capacity and Water Uptake / T.R. Denisova, I.G. Shaikhiev, I.R. Nizameev [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 9. — № 1S. — P. 1798-1810.

13. Kharlyamov D.A. Preparation and Application of a Magnetic Composite Sorbent for Collecting Oil from a Water Surface / D.A. Kharlyamov, G.V. Mavrin, T.R. Denisova [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 12. — № 5. — P. 1642-1648.

14. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

15. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания влаги в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом.

16. ГОСТ 12596-67. Активный уголь. Способ определения массовой доли золы.

17. Kharlyamov D.A. Thermodynamic and Kinetic Parameters of Adsorption of Heavy Metals Ions on Magnetic Composite Sorbent / D.A. Kharlyamov, D.A. Albutova, T.R. Denisova [et al.] // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. — 2019. — Vol. 16. — № 1. — P. 188-194.

18. Ибрагимов Ш.Т. Очистка из промышленных сточных вод ионов тяжелых металлов Cu2+, Zn2+ и Ni2+ методом адсорбции / Ш.Т. Ибрагимов, Ш.П. Нуруллаев, З.С. Алихонова // Наука, техника и образование. — 2022. — № 4 (87). — С. 11-14.

19. ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Miftahov M.N. Perspektivy utilizacii skopa – othoda kartonno-bumazhnogo proizvodstva [Prospects for Recycling Osprey-waste from Cardboard and Paper Production] / M.N. Miftahov // Novaja nauka: Teoreticheskij i prakticheskij vzgljad [New Science: Theoretical and Practical View]. — 2015. — № 6-1. — P. 26-27. [in Russian]

2. Chulkova I.L. Ispol'zovanie skopa v kachestve vjazhushhego veshhestva [Using Osprey as a Binder] / I.L. Chulkova, I.A. Selivanov // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta [Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University]. — 2021. — Vol. 18. — № 2 (78). — P. 204-215. [in Russian]

3. Novozhilov E.V. Harakteristika skopa, obrazujushhegosja pri lokal'noj ochistke voloknosoderzhashhih stochnyh vod [Characteristics of the Scum Formed during Local Treatment of Fiber-containing Wastewater] / E.V. Novozhilov, D.G. Chuhchin, E.V. Belyh [et al.] // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of Plant Raw Materials]. — 2014. — № 4. — P. 279-286. [in Russian]

4. Batalin B.S. Ispol'zovanie skopa dlja obespechenija gigienicheskoj bezopasnosti zhilyh pomeshhenij [Using a Scope to Ensure Hygienic Safety of Residential Premises] / B.S. Batalin, I.A. Kozlov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern Problems of Science and Education]. — 2012. — № 4. — P. 104. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

5. Sverguzova S.V. Ispol'zovanie othoda pererabotki makulatury v kachestve sorbcionnogo materiala dlja udalenija krasitelja "metilenovyj goluboj" iz model'nyh rastvorov [Use of Waste Paper Processing Waste as a Sorption Material for Removing Methylene Blue Dye from Model Solutions] / S.V. Sverguzova, Zh.A. Sapronova, I.G. Shajhiev [et al.] // Rossijskij himicheskij zhurnal [Russian Chemical Journal]. — 2023. — Vol. 67. — № 2. — P. 67-73. [in Russian]

6. Miftahov M.N. Issledovanie sorbcionnyh svojstv modificirovannyh sorbentov, poluchennyh iz othodov celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti – skopa [Study of the Sorption Properties of Modified Sorbents Obtained from Pulp and Paper Industry Waste – Osprey] / M.N. Miftahov, D.V. Mahnjuk // Social'no-jekonomicheskie i tehnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizacija [Socio-economic and Technical Systems: Research, Design, Optimization]. — 2020. — № 3 (86). — P. 21-28. [in Russian]

7. Shibeka L.A. Jeffektivnost' primenenija skopa v processah ochistki stochnyh vod ot krasjashhih veshhestv [Efficiency of Using Osprey in Wastewater Treatment Processes from Dyes] / L.A. Shibeka, V.O. Sin'kevich // Prirodopol'zovanie i jekologicheskie riski. materialy nauchno-prakticheskoj konferencii [Environmental Management and Environmental Risks. Materials of the Scientific and Practical Conference]. — 2019. — P. 344-346. [in Russian]

8. Denisova T.R. Material Performance of Nickel Ions Adsorption by Larix Sibirica Needles / T.R. Denisova, D.A. Kharlyamov, I.G. Shaikhiev [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. — 2018. — Vol. 7. — P. 219.

9. Kharlyamov D.A. Adsorption of Oil Products Using Modified Woodworking Waste / D.A. Kharlyamov, G.V. Mavrin, I.F. Suleimanov // Eurasian Chemical Communications. — 2020. — Vol. 2. — № 11. — P. 1110-1116.

10. Dremicheva E.S. Ispol'zovanie othodov sel'skogo hozjajstva dlja ochistki stochnyh vod promyshlennyh predprijatij [Use of Agricultural Waste for Wastewater Treatment of Industrial Enterprises] / E.S. Dremicheva // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. — 2019. — Vol. 23. — № 4. — P. 16-19. [in Russian]

11. Harljamov D.A. Fiziko-himicheskie i sorbcionnye svojstva kompozicionnyh materialov na osnove othodov derevoobrabotki i sinteticheskogo magnetita [Physico-chemical and Sorption Properties of Composite Materials Based on Wood Processing Waste and Synthetic Magnetite] / D.A. Harljamov, T.R. Denisova, G.V. Mavrin [et al.] // Voda: himija i jekologija [Water: Chemistry and Ecology]. — 2018. — № 10-12 (117). — P. 119-125. [in Russian]

12. Denisova T.R. The Influence of Linden (tã lia cordã ta) Sawdust Ultrasound Treatment on Oil Sorption Capacity and Water Uptake / T.R. Denisova, I.G. Shaikhiev, I.R. Nizameev [et al.] // Journal of Fundamental and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 9. — № 1S. — P. 1798-1810.

13. Kharlyamov D.A. Preparation and Application of a Magnetic Composite Sorbent for Collecting Oil from a Water Surface / D.A. Kharlyamov, G.V. Mavrin, T.R. Denisova [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 12. — № 5. — P. 1642-1648.

14. GOST 17.4.4.02-84. Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [GOST 17.4.4.02-84. Protection of Nature. Soils. Methods of Sampling and Preparation of Samples for Chemical, Bacteriological, Helminthological Analysis] [in Russian]

15. PND F 16.2.2:2.3:3.27-02. Kolichestvennyj himicheskij analiz pochv. Metodika vypolnenija izmerenij soderzhanija vlagi v tverdyh i zhidkih othodah proizvodstva i potreblenija, osadkah, shlamah, aktivnom ile, donnyh otlozhenijah gravimetricheskim metodom [PND F 16.2.2:2.3:3.27-02. Quantitative Chemical Analysis of Soils. Methodology for Measuring Moisture Content in Solid and Liquid Industrial and Consumer Waste, Sediment, Sludge, Activated Sludge, Bottom Sediments Using the Gravimetric Method] [in Russian]

16. GOST 12596-67. Aktivnyj ugol'. Sposob opredelenija massovoj doli zoly [GOST 12596-67. Active Carbon. Method for Determining the Mass Fraction of Ash] [in Russian]

17. Kharlyamov D.A. Thermodynamic and Kinetic Parameters of Adsorption of Heavy Metals Ions on Magnetic Composite Sorbent / D.A. Kharlyamov, D.A. Albutova, T.R. Denisova [et al.] // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. — 2019. — Vol. 16. — № 1. — P. 188-194.

18. Ibragimov Sh.T. Ochistka iz promyshlennyh stochnyh vod ionov tjazhelyh metallov Cu2+, Zn2+ i Ni2+ metodom adsorbcii [Purification of Heavy Metal Ions Cu2+, Zn2+ and Ni2+ from Industrial Wastewater by Adsorption Method] / Sh.T. Ibragimov, Sh.P. Nurullaev, Z.S. Alihonova // Nauka, tehnika i obrazovanie [Science, Technology and Education]. — 2022. — № 4 (87). — P. 11-14. [in Russian]

19. PND F 14.1:2:4.135-98. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii jelementov v probah pit'evoj, prirodnyh, stochnyh vod i atmosfernyh osadkov metodom atomno-jemissionnoj spektrometrii s induktivno svjazannoj plazmoj [PND F 14.1:2:4.135-98. Methodology for Measuring the Mass Concentration of Elements in Samples of Drinking, Natural, Waste Water and Atmospheric Precipitation Using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry] [in Russian]