

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44>

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД СОРБЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Научная статья

Гора Н.В.¹, Беляева О.В.², Голубева Н.С.^{3,*}, Горелкина А.К.⁴, Тимощук И.В.⁵, Иванова Л.А.⁶

¹ ORCID : 0000-0002-6055-8570;

² ORCID : 0000-0003-3030-9140;

³ ORCID : 0000-0002-2188-8331;

⁴ ORCID : 0000-0002-3782-2521;

⁵ ORCID : 0000-0002-1349-2812;

⁶ ORCID : 0000-0002-4103-8780;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (golnadya[at]yandex.ru)

Аннотация

Исследована возможность повышения адсорбции железа путем реагентно-термического модифицирования активного антрацита «Пуrolат-Стандарт». В качестве реагентов-модификаторов выбраны персульфат натрия и аминокислота. Для всех исследуемых образцов были определены технические и физико-химические характеристики. Показано, что в результате модифицирования уменьшился суммарный объем пор, предположительно за счет окислительной деструкции как воздухом при высокой температуре, так и персульфат натрия для образцов ППС и ППв. Реагентно-термическое модифицирование глицином значительно увеличило адсорбционную емкость углеродного сорбента. Окислительное модифицирование персульфатом натрия не привело к ожидаемому росту адсорбции железа. Определено, что присутствие влаги на обработанных модификатором сорбентах перед их прогревом не дает преимуществ в изменении адсорбции железа при любом типе модифицирования.

Ключевые слова: сорбент, модифицирование, адсорбция железа.

AN ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF NATURAL WATER DEFERRIZATION BY SORPTION METHODS

Research article

Gora N.V.¹, Belyaeva O.V.², Golubeva N.S.^{3,*}, Gorelkina A.K.⁴, Timoshchuk I.V.⁵, Ivanova L.A.⁶

¹ ORCID : 0000-0002-6055-8570;

² ORCID : 0000-0003-3030-9140;

³ ORCID : 0000-0002-2188-8331;

⁴ ORCID : 0000-0002-3782-2521;

⁵ ORCID : 0000-0002-1349-2812;

⁶ ORCID : 0000-0002-4103-8780;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

* Corresponding author (golnadya[at]yandex.ru)

Abstract

The possibility of increasing the adsorption of iron by reagent-thermal modification of active anthracite "Purolat-Standard" was examined. Sodium persulfate and aminoacetic acid were chosen as modifying reagents. Technical and physicochemical characteristics were determined for all studied samples. It is shown that as a result of modification the total pore volume decreased, presumably due to oxidative degradation by both air at high temperature and sodium persulfate for samples PPs and PPv. Reagent-thermal modification with glycine significantly increased the adsorption capacity of the carbon sorbent. Oxidative modification with sodium persulfate did not lead to the expected increase in iron adsorption. It was determined that the presence of moisture on the sorbents treated with the modifier before heating them does not give an advantage in changing the iron adsorption for any type of modification.

Keywords: sorbent, modification, iron adsorption.

Введение

В настоящее время проблема загрязнения природных вод является актуальной для многих регионов. Одним из загрязнителей, ухудшающих их качество, является железо.

Формирование состава природных вод происходит в результате взаимодействия воды с окружающей средой – горными породами, почвой, атмосферой. В подземных водах преобладают соединения двухвалентного железа, устойчивого в условиях значительного содержания растворенной двуокиси углерода и дефицита кислорода. Состав подземных вод практически постоянен по сезонам года [1].

В поверхностных водах наблюдается многообразие содержания форм железа. Оно может присутствовать в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии, входит в состав минеральных и органических соединений. Высокие концентрации железа придают воде буроватую окраску, металлический привкус, вызывают сужение просветов труб водопроводных сетей и водоразборной арматуры за счет образования минеральных отложений и

иммобилизации на них железобактерий [2]. Кроме того, повышенное содержание железа является причиной брака в бумажной, текстильной, химической, пищевой и других отраслях промышленности. Высокое содержание железа в питьевой воде опасно для здоровья человека. При продолжительном поступлении в организм железа избыток его накапливается в печени в коллоидной форме оксида железа (гемосидерин), воздействуя на клетки печени, вызывая их разрушение [3].

Существуют различные методы обезжелезивания воды, при этом для удаления железа из подземных вод наибольшее распространение получили безреагентные методы, которые являются менее эффективными для Кузбасса из-за особенностей состава природных вод региона [3], [4], [5].

Сорбционная очистка является одним из наиболее распространенных методов, успешно применяющихся для решения задач, связанных с загрязнением природных вод. Традиционно используются адсорбенты с развитой внутренней поверхностью (объемом пор) [6], [7]. Эффективность сорбентов зависит от преобладающего вида пор и химического состояния поверхности (в частности от наличия на ней определенных функциональных групп). Формирование объема пор в теле сорбента достигается путем создания специальных условий в процессе его синтеза или в результате дополнительной обработки.

Активные угли (АУ) в силу своей универсальности занимают ведущее место среди адсорбентов, а их модифицирование позволяет значительно увеличить сорбционную активность углеродных сорбентов.

Обычно активные угли используют для извлечения органических соединений, тогда как для очистки водных сред от катионов d-элементов применяют сорбенты на основе соединений кремния или алюмосиликатов [8], [9].

Учитывая, что в природных водах содержатся и ионы металлов, в том числе железа, и органические соединения, выгоднее подобрать универсальный сорбент, позволяющий извлекать из природных вод все типы поллютантов.

При выборе адсорбентов отдается предпочтение тем образцам, для которых характерно сочетание высокой адсорбционной емкости с их низкой стоимостью. «Пуrolат-Стандарт» является полукоксом на основе антрацита, который изготавливают с использованием одностадийного процесса карбонизации/активации воздухом. Производители рекомендуют использовать этот дешевый фильтрующий углеродный материал в качестве замены традиционных песчаных фильтров для механической очистки воды от грубодисперсных частиц, мутности, цветности, а также предварительной очистки в системах водоподготовки АЭС, ТЭЦ, ГРЭС. Кроме того, его предлагают применять для очистки питьевой воды и сточных вод на предприятиях металлургической, химической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности, горно-обогатительных комбинатах, предприятиях пищевой промышленности.

Однако предварительные исследования адсорбции некоторых соединений на сорбенте Пуrolат-Стандарт показали его невысокую адсорбционную емкость [7], [10].

Вариантами интенсификации процесса адсорбции на АУ являются прогрев при температуре выше 200 °С [10], механоактивация и химическое модифицирование поверхности активных углей, которые способны увеличить: пористость, гидрофильно-гидрофобные свойства их поверхности, образование поверхностных функциональных групп – будущих активных центров для адсорбции и обеспечить доступность пор для сорбтива. Основным механизмом адсорбции ионов металлов является ионный обмен и/или комплексообразование с поверхностными структурами сорбента различного типа (аминогруппы, амидные, карбонильные, фенольные группы и т.д.). Формирование кислородсодержащих поверхностных групп происходит при термическом или реагентном окислительном модифицировании [11]. Закрепление на углеродной поверхности аминокислот или амидов ведет к росту адсорбции d-элементов [12], [13], [14]. Увеличение кислород- и азотсодержащих поверхностных групп может привести к повышению емкости адсорбентов по отношению к металлам.

Целью работы являлось исследование принципиальной возможности использования сорбента «Пуrolат-Стандарт» для извлечения ионов железа из водных сред, а также его реагентно-термическое модифицирование и сравнительный анализ адсорбционных характеристик исходных и модифицированных углей из одной партии.

Методы и принципы исследования

Модифицирование исходного коммерческого сорбента (обозначен как образец П) проводилось в несколько стадий с последовательным применением реагентной и термической обработки при 250°С. В качестве одного из реагентных модификаторов использовали глицин (аминоуксусная кислота), содержащий два потенциальных центра адсорбции – карбоксильную и аминогруппы. Другой модификатор – персульфат натрия, является сильным окислителем, за счет своих химических свойств он может привести к формированию более развитой микропористой структуры, и образованию кислородсодержащих поверхностных групп (карбонильные и карбоксильные).

Исходный углеродный материал в течение суток выдерживался в 5 % растворе реагентного модификатора, отмывался от продуктов взаимодействия и фильтровался до сыпучего состояния. Часть сорбента сразу в течение двух часов выдерживалась в термостатируемом шкафу при температуре 250 °С. Другая часть сушилась до воздушно-сухого состояния, после этого также подвергалась прогреву в тех же условиях. Предполагается, что температурный прогрев в интервале 200-250 °С способствует формированию основных и кислотных групп, а также закреплению модификатора на поверхности активного угля [10], [11], [15]. Разное исходное состояние образца при прогреве (табл. 1) выбрано исходя из данных [11], что присутствие воды при термообработке углеродных материалов служит дополнительным фактором, позволяющим сформировать более развитую пористую структуру сорбента.

Маркировка полученных модифицированных образцов приведена в таблице 1.

Для всех исследуемых образцов были определены технические и физико-химические характеристики (табл. 1). Суммарный объем пор по воде (размер 0.5 – 10000 нм) определялся по ГОСТ 17219-71. Суммарное содержание кислотных и основных групп оценивалось в статических условиях по реакции обмена с растворами HCl и NaOH [16].

Исследование процесса адсорбции ионов железа (II) проводилось в условиях равновесия на модельных растворах при температуре 25°С. Соотношение навески адсорбента к объему исследуемого раствора составило 1:100.

Концентрацию железа (II) определяли методом абсолютной калибровки спектрофотометрическим методом при длине волны 400 нм, основанном на образовании окрашенных комплексов железа с сульфосалициловой кислотой [17].

Основные результаты

Характеристики исходного и модифицированных образцов АУ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики углеродных сорбентов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44.1>

Характеристика		Образец				
		П	ППс	ППв	ПАс	ПАв
Реагент – модификатор, 5% раствор		-	Na ₂ S ₂ O ₈	Na ₂ S ₂ O ₈	NH ₂ CH ₂ CO ОН	NH ₂ CH ₂ CO ОН
Состояние образца перед прогревом		-	Воздушно-сухой	Влажно-сыпучий	Воздушно-сухой	Влажно-сыпучий
Влага, %		2,20 ± 0,18	2,01 ± 0,14	2,05 ± 0,15	2,10 ± 0,12	2,06 ± 0,11
Насыпная плотность, г/см ³		0,87 ± 0,01	0,88 ± 0,01	0,87 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,88 ± 0,01
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г		0,171 ± 0,003	0,100 ± 0,002	0,078 ± 0,001	0,138 ± 0,003	0,142 ± 0,003
Обменная емкость, ммоль/г	по Н ⁺	0,556 ± 0,011	0,126 ± 0,003	0,071 ± 0,001	0,212 ± 0,004	0,131 ± 0,003
	по ОН ⁻	-	0,032 ± 0,001	0,033 ± 0,001	0,011 ± 0,000	0,011 ± 0,000

Исследования показали, что в результате модифицирования суммарный объем пор уменьшается. Причиной этого может быть окислительная деструкция поверхности сорбента кислородом воздуха при повышенной температуре. В случае окислительного модифицирования (образцы ППс и ППв) процесс разрушения текстуры сорбента усиливается модификатором, а также присутствием влаги (образец ППв).

Действие модификаторов снижает общее количество групп способных к ионному обмену, количество титруемых кислотных групп (СОЕ по ОН⁻) незначительно увеличивается, а основных (СОЕ по Н⁺) – уменьшается.

Изотермы адсорбции железа образцами АУ представлены на рис. 1.

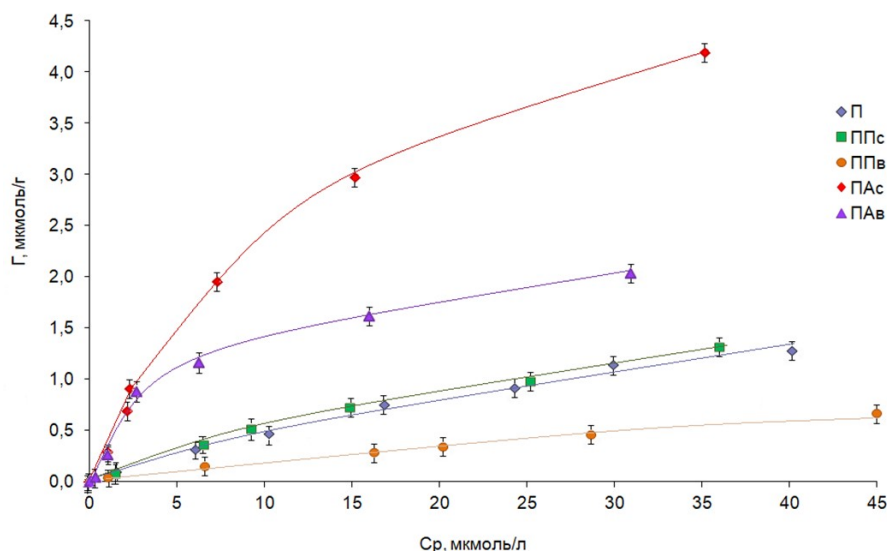


Рисунок 1 - Изотермы адсорбции железа углеродными адсорбентами

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44.2>

Анализ полученных изотерм показал, что модифицирование с использованием персульфата натрия незначительно увеличивает адсорбцию железа для прогретого воздушно-сухого образца. Присутствие большого количества влаги при прогреве (образец ППв) снижает адсорбцию железа. Предварительная посадка глицина с последующей термической обработкой резко увеличивает адсорбцию железа, особенно в случае воздушно-сухого образца (ПАс).

Так как для железа основной предполагаемый механизм адсорбции – ионный обмен и комплексообразование, то расчет адсорбционных параметров проводился с использованием уравнений теорий мономолекулярной адсорбции Ленгмюра и Фрейндлиха. Линеаризованные изотермы адсорбции представлены на рисунках 2 и 3.

Расчеты показали (табл. 2), что уравнение Фрейндлиха лучше описывает экспериментальные данные (коэффициент аппроксимации R^2 составляет больше 0,995) для модифицированных персульфатом образцов, что может свидетельствовать об энергетической неоднородности адсорбционных центров, взаимодействующих с ионами железа. Для описания адсорбции железа на модифицированных глицином образцах более подходит уравнение Ленгмюра, что предполагает более однородные по энергии адсорбционные центры.

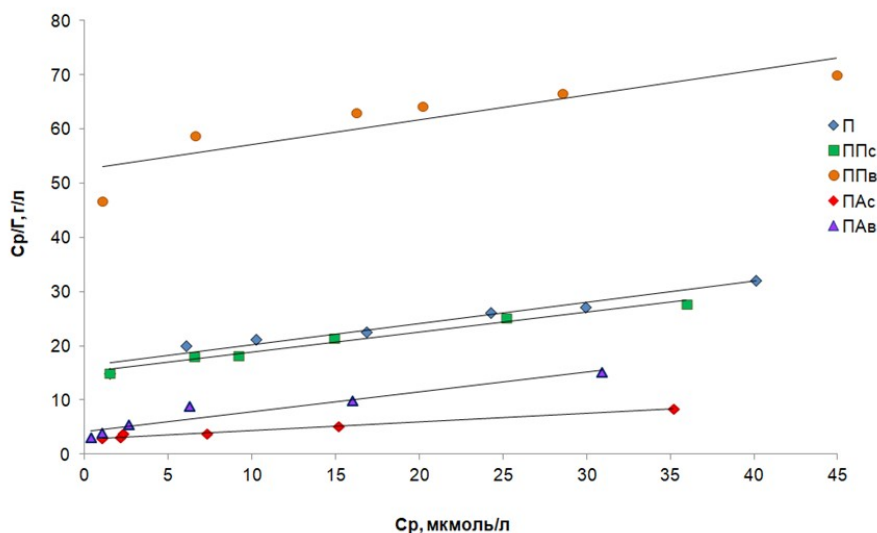


Рисунок 2 - Изотермы адсорбции железа углеродными адсорбентами в координатах уравнения Ленгмюра
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44.3>

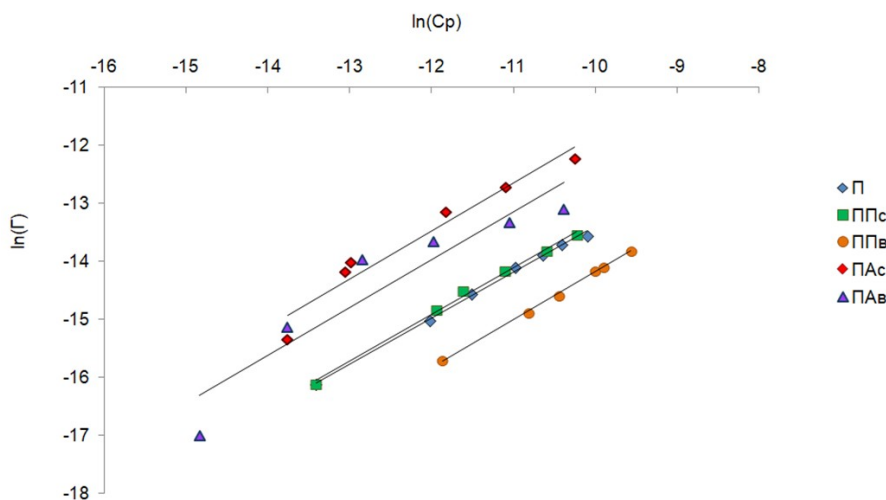


Рисунок 3 - Изотермы адсорбции железа углеродными адсорбентами в координатах уравнения Фрейндлиха
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44.4>

Согласно полученным расчетам (таблица 2) изменение предельной адсорбции железа (Γ_{\max}) составляет не более 6% для ППс, что сопоставимо с погрешностью эксперимента. Для образцов ПAc и ПАв Γ_{\max} увеличивается в 2,5 и 1,3 раза, соответственно. Величина энергии Гиббса адсорбции (ΔG) позволяет предположить, что процесс адсорбции на всех исследуемых образцах протекает самопроизвольно за счет устойчивого закрепления ионов железа на поверхности углеродных сорбентов. Изменение параметров адсорбции, рассчитанных по уравнению Фрейндлиха (k_F), показывает аналогичные закономерности.

Таблица 2 - Параметры адсорбции Fe²⁺ углеродными адсорбентамиDOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.44.5>

Образец	Уравнение Фрейндлиха			Уравнение Ленгмюра			
	$k_F \cdot 10^3$	1/n	R ²	Γ_{\max} , мг/г	$k_L \cdot 10^{-3}$	$-\Delta G$, кДж/моль	R ²
П	3,97±0,28	0,79±0,06	0,999	0,144±0,0 1	23,7±1,42	34,33±2,0 6	0,960
ППс	5,30±0,32	0,81±0,05	0,995	0,152±0,0 1	24,2±1,45	34,38±2,0 6	0,978
ППв	2,73±0,16	0,83±0,04	0,999	0,140±0,0 1	8,33±0,5	31,78±1,9 1	0,925
ПАС	29,2±1,46	0,83±0,04	0,949	0,362±0,0 2	53,79±3,2 3	36,32±2,1 8	0,970
ПАВ	13,4±0,67	0,81±0,05	0,876	0,184 ±0,01	85,54±5,1 3	37,45±2,2 5	0,925

Заключение

Сопоставление данных по адсорбции железа (II) с характеристиками сорбентов позволяет предположить, что для обработанных глицином образцов основным возможным механизмом адсорбции является образование комплексов ионов железа со сформированными на поверхности сорбента амидными / аминными группами. Такие группы могут образовываться при термообработке в выбранных условиях за счет протекания реакции конденсации между молекулами глицина и / или карбоксильными поверхностными группами сорбента [15], [18], что увеличивает адсорбцию ионов железа. Доля адсорбирующегося за счет ионного обмена железа незначительна.

Обработка активного угля марки «Пуrolат-Стандарт» персульфатом натрия не привела к ожидаемому росту адсорбционной емкости по железу (II). Количество образующихся при модифицировании поверхностных групп кислотного типа сравнительно мало, поэтому адсорбция за счет ионного обмена практически отсутствует. При этом формирующиеся в процессе данного модифицирования поверхностные соединения кислорода, предположительно, не способны участвовать в комплексобразовании с ионами железом.

Присутствие влаги перед прогревом сорбентов не дает преимуществ в изменении адсорбционной емкости по отношению к железу.

Наиболее эффективным способом повышения адсорбции железа (II) из водных сред оказался прогрев воздушно-сухого сорбента после предварительной посадки аминокислотной кислоты.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р.

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.

Funding

The research was carried out within the framework of a comprehensive scientific and technical program of a full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 11.05.2022, No. 1144-R.

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.

Список литературы / References

1. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. — М.: Издательство МГУ, 1996. — 680 с.
2. Соколова Т.С. Коррозия стали под воздействием железобактерий и методы защиты от нее. / Т.С. Соколова, Е.А. Воложенинова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. — 2012. — 14. — с. 185-192.
3. Сколубович Ю.Л. Использование подземных вод Кузбасса для питьевого водоснабжения / Ю.Л. Сколубович, Т.А. Краснова — М.: Компания Спутник+, 2001. — 105 с.

4. Кулаков В.В. Обезжелезивание и деманганация подземных вод / В.В. Кулаков, Е.В. Сошников, Г.П. Чайковский — Хабаровск: ДВГУПС, 1998. — 100 с.
5. Михневич Э.И. Анализ методов обезжелезивания воды и условия их применения / Э.И. Михневич, Д.Э. Пропольский // Мелиорация. — 2017. — Т. 80. — 2. — с. 59-65. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29450119> (дата обращения: 13.10.22).
6. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко и др. — Л.: Химия, 1990. — 255 с.
7. Краснова Т.А. Использование углеродных сорбентов для удаления марганца из водных сред. / Т.А. Краснова, Е.Е. Беляева, О.В. Беляева и др. // Водоснабжение и санитарная техника. — 2022. — 7. — с. 18-24. — DOI: 10.35776/VST.2022.07.03
8. Полещук И.Н. Извлечение ионов железа (III) из водных растворов природными сорбентами. / И.Н. Полещук, И.А. Пинигина, Е.С. Созыкина // Современные наукоемкие технологии. — 2019. — 3. — с. 65-69.
9. Бадмаева С.В. Адсорбция катионов железа на глинах различных месторождений Бурятии. / С.В. Бадмаева, С.Ц. Ханхасаева, Л.В. Серая // Вестник Бурятского государственного университета. — 2011. — 3. — с. 65-67.
10. Krasnova T.A. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. / T.A. Krasnova, N.V. Gora, O.V. Belyaeva et al. // Carbon Letters. — 2021. — 31. — p. 1023-1032. — DOI: doi.org/10.1007/s42823-020-00216-z
11. Беляева О.В. Влияние условий предварительного прогрева активных углей на адсорбцию органических соединений из водных растворов / О.В. Беляева, Т.А. Краснова, Н.С. Голубева // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2017. — Т. 17. — Вып. 6. — с. 947-953.
12. Соловьева Ю.В. Технология адсорбционного извлечения ионов ртути из водных растворов. / Ю.В. Соловьева, В.П. Юстратов, И.В. Васильева и др. // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — 1-2(103). — с. 88-93. — DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.040
13. Морозов Д.Ю. Исследование адсорбционной очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов. / Д.Ю. Морозов, М.В. Шулаев, В.М. Емельянов и др. // Вестник Казанского технологического университета. — 2004. — 1. — с. 95-98.
14. Соловьева Ю.В. Модифицирование и утилизация отработанного углеродного сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов дис. ...канд. null: 03.00.16 : защищена 2006-12-26 : утв. 2007-03-13 / Ю.В. Соловьева — Кемерово: 2006. — 150 с.
15. Селифонова Е.И. Термогравиметрическое изучение L-α-аминокислот. / Е.И. Селифонова, Р.К. Чернова, О.Е. Коблова // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. — 2008. — 2. — с. 23-28.
16. ГОСТ 20255.1-89 Метод определения статической обменной емкости — Введ. 2002-01-01. — М.: Издательство стандартов, 2002. — 7 с.
17. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. — Введ. 2004-01-01. — М.: ФЦАО, 2011. — 19 с.
18. Васина Я.А. Продукты твердофазного термического превращения L-α-аминокислот в вакуумированной системе. / Я.А. Васина, И.Л. Смелцова, В.И. Фаерман и др. // Universum: химия и биология. — 2016. — 11(29).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Frog B.N. Vodopodgotovka [Water treatment] / B.N. Frog, A.P. Levchenko. — М.: MSU Publishing House, 1996. — 680 p. [in Russian]
2. Sokolova T.S. Korroziya stali pod vozdejstviem zhelezobakterij i metody' zashhity' ot nee [Corrosion of steel under the influence of iron bacteria and methods of protection against it]. / T.S. Sokolova, E.A. Volozheninova // Vestnik PNIPU. Ximicheskaya texnologiya i biotexnologiya [Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology]. — 2012. — 14. — p. 185-192. [in Russian]
3. Skolubovich Yu.L. Ispol'zovanie podzemny'x vod Kuzbassa dlya pit'evogo vodosnabzheniya [Use of underground waters of Kuzbass for drinking water supply] / Yu.L. Skolubovich, T.A. Krasnova — М.: Kompaniya Sputnik+, 2001. — 105 p. [in Russian]
4. Kulakov V.V. Obezzelezivanie i demanganaciya podzemny'x vod [Iron removal and demanganization of groundwater] / V.V. Kulakov, E.V. Soshnikov, G.P. Chajkovskij — Xabarovsk: DVGUPS, 1998. — 100 p. [in Russian]
5. Mikhnevich E.I. Analiz metodov obezzelezivaniya vodi i usloviya ikh primeneniya [Methods of deironing of water, analysis and condition of their use] / E.I. Mikhnevich, D.E. Propolskii // Melioratsiya [Melioration]. — 2017. — Vol. 80. — 2. — p. 59-65. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29450119> (accessed: 13.10.22). [in Russian]
6. Koganovskii A.M. Adsorbtsiya organicheskikh veshchestv iz vodi [Adsorption of organic substances from water] / A.M. Koganovskii, N.A. Klimenko, T.M. Levchenko et al. — Л.: Khimiya, 1990. — 255 p. [in Russian]
7. Krasnova T.A. Ispol'zovanie uglerodny'x sorbentov dlya udaleniya margancza iz vodny'x sred [The use of carbon sorbents to remove manganese from aqueous media]. / T.A. Krasnova, E.E. Belyaeva, O.V. Belyaeva et al. // Vodosnabzhenie i sanitarnaya texnika [Water and Sanitation]. — 2022. — 7. — p. 18-24. — DOI: 10.35776/VST.2022.07.03 [in Russian]
8. Poleshhuk I.N. Izvlechenie ionov zheleza (III) iz vodny'x rastvorov prirodny'mi sorbentami [Extraction of iron (III) ions from aqueous solutions by natural sorbents]. / I.N. Poleshhuk, I.A. Pinigina, E.S. Sozy'kina // Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high-tech technologies]. — 2019. — 3. — p. 65-69. [in Russian]
9. Badmaeva S.V. Adsorbtsiya kationov zheleza na glinax razlichny'x mestorozhdenij Buryatii [Adsorption of iron cations on clays of various deposits of Buryatia]. / S.V. Badmaeva, S.Cz. Xanxasaeva, L.V. Seraya // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Buryat State University]. — 2011. — 3. — p. 65-67. [in Russian]

10. Krasnova T.A. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. / T.A. Krasnova, N.V. Gora, O.V. Belyaeva et al. // Carbon Letters. — 2021. — 31. — p. 1023-1032. — DOI: doi.org/10.1007/s42823-020-00216-z
11. Belyaeva O.V. Vliyanie uslovii predvaritelnogo progreva aktivnykh uglei na adsorbtsiyu organicheskikh soedinenii iz vodnykh rastvorov [The effect of pre-heating conditions of active carbons on the adsorption of organic compounds from aqueous solutions] / O.V. Belyaeva, T.A. Krasnova, N.S. Golubeva // Sorbtsionnie i khromatograficheskie protsessy [Sorption and chromatography processes]. — 2017. — Vol. 17. — Iss. 6. — p. 947-953. [in Russian]
12. Solov'eva Yu.V. Tekhnologiya adsorbtsionnogo izvlecheniya ionov rtuti iz vodny'x rastvorov [Technology of adsorption extraction of mercury ions from aqueous solutions]. / Yu.V. Solov'eva, V.P. Yustratov, I.V. Vasil'eva et al. // Mezhdunarodny'j nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2021. — 1-2(103). — p. 88-93. — DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.040 [in Russian]
13. Morozov D.Yu. Issledovanie adsorbtsionnoj ochistki stochny'x vod, sodержashhix iony' tyazhely'x metallov [Investigation of adsorption treatment of wastewater containing heavy metal ions]. / D.Yu. Morozov, M.V. Shulaev, V.M. Emel'yanov et al. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]. — 2004. — 1. — p. 95-98. [in Russian]
14. Solov'eva Yu.V. Modificirovanie i utilizaciya otrabotannogo uglerodnogo sorbenta dlya ochistki stochny'x vod ot ionov tyazhely'x metallov [Modification and utilization of spent carbon sorbent for wastewater treatment from heavy metal ions] dis....of PhD in Natural sciences: 03.00.16 : defense of the thesis 2006-12-26 : approved 2007-03-13 / Ю.В. Соловьёва — Kemerovo: 2006. — 150 p. [in Russian]
15. Selifonova E.I. Termogravimetricheskoe izuchenie L- α -aminokislot [Thermogravimetric study of L- α -amino acids]. / E.I. Selifonova, R.K. Chernova, O.E. Koblova // Izv. Sarat. un-ta Nov. ser. Ser. Ximiya. Biologiya. E'kologiya [Proceedings of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology]. — 2008. — 2. — p. 23-28. [in Russian]
16. GOST 20255.1-89 Metod opredeleniya staticheskoi obmennoi yemkosti [GOST 20255.1-89 Method for determining the static exchange capacity] — Introduced 2002-01-01. — M.: Publishing House of Standards, 2002. — 7 p. [in Russian]
17. PND F 14.1:2:4.50-96 Kolichestvenny'j ximicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii obshhego zheleza v pit'evy'x, prirodny'x i stochny'x vodax fotometricheskim metodom s sul'fosalicilovoj kislotoj [PND F 14.1:2:4.50-96 Quantitative chemical analysis of water. Method for measuring the mass concentration of total iron in drinking, natural and waste waters by the photometric method with sulfosalicylic acid]. — Introduced 2004-01-01. — M.: FCZAO, 2011. — 19 p. [in Russian]
18. Vasina Ya.A. Produkty' tverdogfaznogo termicheskogo prevrashheniya L- α -aminokislot v vakuumirovannoj sisteme [Products of solid-phase thermal transformation of L- α -amino acids in a vacuum system]. / Ya.A. Vasina, I.L. Smel'czova, V.I. Faerman et al. // Universum: ximiya i biologiya [Universum: chemistry and biology]. — 2016. — 11(29). [in Russian]