



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 628.1.033:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032



К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ВОДЫ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Наталья Вячеславовна Гора ¹, Даниил Андреевич Чернышёв ²,
Галина Васильевна Гуринович ³, Оксана Владимировна Беляева ⁴

^{1, 2, 3, 4} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹goranataliya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6055-8570>

²danilachernishov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7622-2767>

³ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

⁴belyaeva-ov.kemsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3030-9140>

Аннотация. Показано важное значение воды для жизнедеятельности организма и здоровья человека. Обозначены причины низкого качества питьевой воды в РФ. Обосновано предложение необходимости и возможности использования в качестве альтернативного источника водоснабжения подземных вод. Приведена информация по загрязнению железом подземных вод Кузбасса и России. Предложено техническое решение по обезжелезиванию воды адсорбцией на модифицированном полукоксе с утилизацией отходов. Рассмотрены результаты сравнительного исследования по очистке от железа адсорбцией на коммерческом полукоксе Пуrolat–Стандарт и его модифицированном глицином образце. Отмечено значительное увеличение адсорбционной емкости модифицированного полукокса. Предлагаемая технология позволит существенно повысить экономичность, экологичность, эффективность очистки и качество питьевой воды и воды для пищевых производств.

Ключевые слова: подземные воды, железо, адсорбция, углеродные сорбенты, модифицирование, пищевые производства.

Благодарности: Исследования проводились в рамках Конкурса РНФ «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными. Название проекта: "Физико-химические и прикладные основы инновационной адсорбционной технологии обезжелезивания природных вод", проект № 23-73-01036.

Для цитирования: Гора Н. В., Чернышёв Д. А., Гуринович Г. В., Беляева О. В. К вопросу о повышении качества питьевой воды и воды для пищевых производств // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 185–188. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032. EDN: <https://elibrary.ru/SFOKWM>.

Original article

TO QUESTION OF IMPROVING QUALITY OF DRINKING WATER AND WATER FOR FOOD PRODUCTION

Natalia V. Gora ¹, Daniil A. Chernyshyov ², Galina V. Gurinovich ³,
Oksana V. Belyaeva ⁴

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹goranataliya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6055-8570>

²danilachernishov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7622-2767>

³ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

⁴belyaeva-ov.kemsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3030-9140>

Abstract. The importance of water for the vital functions of the organism and human health is shown. The reasons for the low quality of drinking water in the Russian Federation are identified. The proposal for the necessity and possibility of using groundwater as an alternative source of water supply is substantiated. Information on the contamination of groundwater with iron in Kuzbass and Russia is provided. A technical solution for water deironing by adsorption on modified semi-coke with waste disposal is proposed. The results of a comparative study on iron removal by adsorption on commercial semi-coke Purolat-Standard and its glycine-modified sample are considered. A significant increase in the adsorption capacity of the modified semi-coke is noted. The proposed technology will significantly improve the cost-effectiveness, environmental friendliness, purification efficiency and quality of drinking water and water for food production.

Keywords: underground water, iron, adsorption, carbon sorbents, modification, food production.

Acknowledgments: The research was conducted within the framework of the RSF Competition "Conducting Initiative Research by Young Scientists" of the Presidential Program of Research Projects Implemented by Leading Scientists, Including Young Scientists. Project name: "Physicochemical and Applied Fundamentals of Innovative Adsorption Technology for Iron Removal from Natural Waters", project No. 23-73-01036.

© Гора Н. В., Чернышёв Д. А., Гуринович Г. В., Беляева О. В., 2025

For citation: Gora, N.V., Chernyshyov, D.A., Gurinovich, G.V. & Belyaeva, O.V. (2025). To question of improving quality of drinking water and water for food production. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 185-188. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032. EDN: <https://elibrary.ru/SFOKWM>.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения страны питьевой водой и качественными продуктами питания на ее основе является важнейшим условием национальной безопасности. Несмотря на то, что вода не является собственно нутриентом, не обладает пищевой и энергетической ценностью, она принимает участие практически во всех жизненно важных процессах обмена: способствует пищеварению, служит растворителем для неорганических и органических соединений, удаляет из организма вредные продукты метаболизма, регулирует содержание солей в тканях и жидкостях, участвует во множестве других реакций метаболизма. Питьевая вода – необходимый элемент жизнеобеспечения населения, т. к. от ее качества зависит здоровье людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия и степень благоустройства городской среды. По данным Всемирной организации здравоохранения, 80 % болезней в мире связаны с неудовлетворительного качества питьевой водой.

В материалах "Водной стратегии РФ" отмечено, что большинство водохозяйственных участков на территории Российской Федерации характеризуется высокой степенью загрязнения водных объектов и низким качеством воды. Наиболее напряженная экологическая ситуация сложилась в бассейнах рек Волги, Оби, Енисея, Амура, Северной Двины и Печоры, загрязнены также поверхностные воды бассейнов рек Дона, Кубани, Терьки и рек бассейна Балтийского моря. Загрязнены техногенными примесями также притоки крупных рек в промышленно развитых регионах (например, р. Тотьма) и каждый второй житель России вынужден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам. Основными причинами низкого качества питьевой воды является загрязнение природных вод техногенными загрязнителями и веществами естественного происхождения, а также несовершенство технологий подготовки воды. Современные технологии подготовки воды, в том числе и из подземных источников, многостадийны, трудоемки, материалоемкаты и, как правило, сопровождаются образованием жидких и (или) твердых отходов, причем не всегда достигается нормативное качество воды.

Учитывая, что при производстве линейки основных продуктов питания, как правило, используют воду системы хозяйственного питьевого водоснабжения существует прямая зависимость качества пищевой продукции и здоровья населения от степени очистки воды. Все это является дестабилизирующим социальным фактором особенно для промышленных регионов с интенсивным антропогенным воздействием на окружающую среду.

Использование в качестве исходного сырья для приготовления питьевой воды запасов подземных (артезианских вод) решает многие проблемы, в том числе по стабильности качества, по защищенности в санитарно-бактериологическом отношении, по надежности, в свете защиты от чрезвычайных ситуаций и, как правило, по стоимости обработки. В связи с этим подземные воды в качестве альтернативного источника водоснабжения используют не только территории, удаленные от поверхностных источников, но и населенные пункты, стоящие на реках. Ресурсный потенциал подземных вод на территории Российской Федерации составляет почти 400 куб. км в год.

Подземные воды надежно защищены от проникновения отходов промышленности и сельского хозяйства слоями природных минералов. Состав примесей в подземных водах обусловлен условиями их формирования. Водонесные пласты проходят через различные породы (угли, руды, известняк) и минералы, содержащиеся в них, растворяются и изменяют состав артезианских вод. Кузбасс угольный бассейн, поэтому чаще всего в подземных водах встречается железо в виде солей Fe (II). Исследование химического состава подземных вод северной части Кузбасса показало, что в большинстве из них содержание железа превышает ПДК в 2,5–15 раз [1]. В других исследованиях [2, 3] установлено, что содержание железа в отдельных районах Кузбасса превышает ПДК в 60–80 раз. Также отмечено, что воды с повышенным содержанием железа 20–80 ПДК распространены в центральном и северном районах России, в Сибири, на Кольском полуострове, на Дальнем Востоке, Алтае. В Московском каменноугольном артезианском бассейне, по данным И.К. Лысогоровой (санэпидемстанция 4 главного управления Министерства здравоохранения), концентрация железа превышает ПДК в 2–20 раз.

Необходимость очистки воды от железа вызвана рядом нежелательных последствий эстетического, технического, экономического и органолептического характера. Кроме того, повышенное содержание в воде данных компонентов отрицательно сказывается на здоровье человека и может приводить к различным негативным последствиям. При длительном потреблении внутрь такой воды или продуктов питания человек рискует приобрести различные заболевания нервной и сердечно-сосудистой систем, печени, почек, желудочно-кишечного тракта, снижение иммунитета, нарушение репродуктивной функции.

В практике водоподготовки для удаления железа из воды используют аэрацию и реагентное обезжелезивание. Это трудоемкие и материалоемкие методы, генерирующие не утилизируемые отходы соединений железа, загрязняющие окружающую среду, негативно влияющие на микрофлору почв, что приводит к потере плодородия [4–6].

Одним из путей решения данной проблемы является применение для обезжелезивания углеродных сорбентов, обладающих способностью сорбировать ионы металлов. Сооружения для реализации такой очистки проще, компактнее, дешевле, а сам процесс более экономичен.

МЕТОДЫ

Нами изучена возможность использования для обезжелезивания подземных вод полукоксов, которые после обработки могут быть эффективно утилизированы.

Объектом исследования являлся полукокс, полученный по технологии одностадийной паровоздушной карбонизации / активации Пуrolat–Стандарт (антрацитовый полукокс, производство ООО "АНТРАКТИВ", Россия).

В настоящее время он используется в качестве замены традиционных песчаных фильтров. Область его применения механическая очистка воды от грубодисперсных частиц, мутности, цветности, предварительная очистка в системах водоподготовки АЭС, ТЭЦ, ГРЭС.

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств сорбентов являются изотермы адсорбции,

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ВОДЫ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

которые позволяют определить зависимость активности сорбента (адсорбционной емкости) от концентрации адсорбата (очищаемого раствора) в условиях равновесия.

Адсорбция железа (II) коммерческим Пуrolат–Стандартом и его модифицированным глицином образцом была исследована на модельных растворах с концентрацией от 5 до 400 мг/л. Определение железа (II) проводили согласно стандартной методике [7].

Таблица 1 – Структурные характеристики полукокса / Table 1 – Structural characteristics of the semi-coke

Образец	Суммарная площадь поверхности $S_{\text{БЭТ}}$, м ² /г	Суммарный объем пор V_{Σ} , см ³	Объем микропор $V_{\text{микро}}$, см ³ /г
коммерческий полукокс	1,62	0,213	-
модифицированный полукокс	1,89	0,016	$2 \cdot 10^{-3}$

Из данных таблицы 1 следует, что полукокс Пуrolат–Стандарт является макропористым сорбентом.

Исследования химии поверхности показало, что pH водной вытяжки равен 3,72, количество поверхностных групп: кислотных – 0,024 ммоль-экв/г, а основных – 0,200 ммоль-экв/г.

Ранее проведенные исследования [8] показали низкую адсорбционную емкость коммерческого Пуrolат–Стандарта. В то же время полукокс обладает хорошими фильтрующими свойствами, прочностью. Для использования Пуrolат–Стандарта в практике водоподготовки необходимо повысить его адсорбционную способность до уровня активных углей.

Нами разработан способ повышения адсорбционной емкости полукокса путем модифицирования аминокислотами [9]. При этом молекулы аминокислот закрепляются на поверхности полукокса и изменяют химию поверхности.

На основе исследований были построены изотермы адсорбции (рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

При адсорбции железа (II) как на коммерческом, так и на модифицированном сорбенте изотерма адсорбции имеет L-форму и протекает соответственно модели монослойной адсорбции на однородной поверхности в отсутствие сил притяжения между молекулами адсорбата (теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра [10]). Изотерма адсорбции растет пропорционально концентрации. Затем рост замедляется, при достаточно высокой концентрации рост прекращается, т.к. покрытие становится близким к монослойному и имеет физическую природу. При извлечении железа (II) на коммерческом полукоксе адсорбция будет проходить за счет дисперсионного взаимодействия с поверхностью сорбента. Низкая адсорбция железа (II) обусловлена

Таблица 2 – Параметры адсорбции железа (II) / Table 2 – Parameters of iron (II) adsorption

Образец	Уравнение Ленгмюра	
	$-\Delta G$, кДж/моль	Γ_{max} , ммоль/г
коммерческий полукокс	25,55	0,068
полукокс модифицированный глицином	24,62	0,185

Адсорбционные параметры ионов железа (II) в условиях равновесия рассчитаны по уравнению Ленгмюра.

Полученные значения энергии Гиббса свидетельствуют, что процесс заполнения монослоя при адсорбции железа (II) на изученных сорбентах протекает самопроизвольно, а адсорбционная емкость Пуrolат–Стандарта Γ_{max} после модифицирования увеличивается в 2,5 раза и сравнима с адсорбционной емкостью активных углей [7]. При этом у модифицированного глицином Пуrolат–Стандарта характеристики пористой

Время достижения адсорбционного равновесия было определено в статических условиях отдельной серией опытов и не превышало 24 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики структуры полукокса определялись по низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе удельной поверхности "Сорбтометр М".

отсутствием микропор и незначительным содержанием кислотных поверхностных групп.

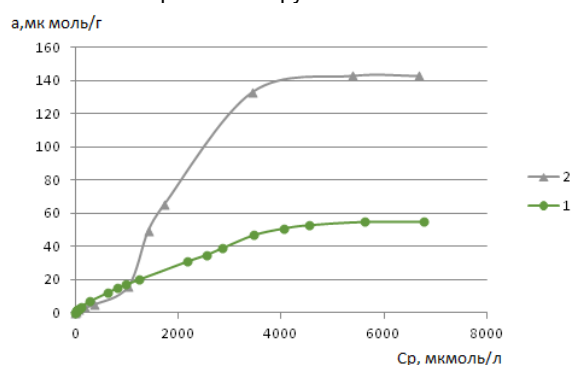
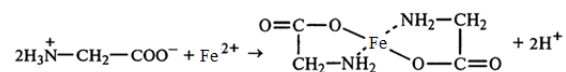


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции железа (II) из водного раствора образцами Пуrolат–Стандарта:
1 – коммерческий полукокс
2 – полукокс, модифицированный глицином

Figure 1 – Isotherms of iron (II) adsorption from an aqueous solution by samples of the Purolate Standard:
1 – commercial semi-coke 2 – semi-coke modified with glycine

После модифицирования механизм адсорбции изменяется. Молекулы глицина, содержащие активные amino- и карбоксильные группы взаимодействуют с железом (II) как по аминогруппе за счет образования донорно-акцепторной связи, так и по карбоксильной группе за счет ионной связи.

При этом образуется очень устойчивое внутри-комплексное соединение:



структуры практически не изменились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование модифицированного сорбента позволяет увеличить эффективность очистки и количество очищаемой воды.

После потери адсорбционной способности в результате эксплуатации по очистке подземных вод от железа модифицированный сорбент может быть использован в качестве вторичного сырья в металлургической и коксохимической промышленности, что

позволит полностью исключить отходы.

Проведенные исследования станут основой для разработки эффективной, экономичной и экологически безопасной технологии очистки подземных вод от железа, позволяющей получать питьевую воду и воду для производства пищевых продуктов высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сколубович Ю.Л. Исследование качественного состава подземных вод Кузбасса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». 2017. № 2. С. 107–115.
2. Берлинтейгер Е.С. Изучение основных видов загрязнений водных ресурсов Кузбасса // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11. С. 55.
3. Токаренко О.Г. Подземные воды центральной части Кузбасса: химический состав в пределах различных ландшафтных областей // Известия Томского политехнического университета. Гидрогеология. 2012. № 1. С. 169–174.
4. Vanikar J.C., Mohit A., Pavate A. & Juraev D.A. (2024). GROUND WATER FLOW MECHANISM CONCEPTUALLY. *Karshi Multidisciplinary International Scientific Journal*, (1).
5. Abd El-Salam H.M., El Shafey A.M., Samadi A. & Abdel-Latif M.K. (2023). Novel Grafted Hydrogel for Iron and Ammonia Removal from Groundwater: A Synthesis and Computational Chemistry Study. *Gels*, 9(10), 781. doi: 10.3390/gels9100781.
6. Fernández-Merino Á., Chávez M., Sánchez-Obreiro G., Madueño R., Blázquez M., Del Caño R. & Pineda T. (2024). Fluorescent Carbon Dots with Red Emission: A Selective Sensor for Fe (III) Ion Detection. *Chemosensors*, 12(11), 226. doi: 10.3390/chemosensors12110226.
7. Исследование возможности применения углеродных сорбентов для очистки природных вод от железа / Гора Н.В. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 5. С. 5–9. doi: 10.35776/VST.2024.05.01.
8. Способ очистки воды от ионов железа: пат. RU 2815097 C1 : заявл. 11.05.2023; опубл 11.03.2024.
9. ПНД Ф 14Л:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Москва, 2011.
10. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел // Мир. 1986. 488 с.

Информация об авторах

Н. В. Гора – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общей и неорганической химии» Кемеровского государственного университета.

Д. А. Чернышёв – аспирант кафедры «Технологии продуктов питания животного происхождения».

Г. В. Гуринович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии продуктов питания животного происхождения».

О. В. Беляева – кандидат химических наук, доцент кафедры «Общей и неорганической химии» Кемеровского государственного университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

REFERENCES

1. Skolubovich, Yu.L., Kupnickaja, T.A., Tsyba, A.A. (2017). Research of qualitative composition of underground waters of kuzbass. *Vestnik of volga state university of technology. Series: materials. Constructions. Technologies*, (2), 107-115. (In Russ.).
2. Berlinterger, E.S. (2013). Study of the main types of pollution of Kuzbass water resources. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, (11), 55. (In Russ.).
3. Tokarenko, O.G. (2012). Groundwater of the central part of Kuzbass: chemical composition within various landscape areas. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Hydrogeology*, (1), 169-174. (In Russ.).
4. Vanikar, J.C., Mohit, A., Pavate, A. & Juraev, D.A. (2024). GROUND WATER FLOW MECHANISM CONCEPTUALLY. *Karshi Multidisciplinary International Scientific Journal*, (1).
5. Abd El-Salam, H.M., El Shafey, A.M., Samadi, A. & Abdel-Latif, M.K. (2023). Novel Grafted Hydrogel for Iron and Ammonia Removal from Groundwater: A Synthesis and Computational Chemistry Study. *Gels*, 9(10), 781. doi: 10.3390/gels9100781.
6. Fernández-Merino, Á., Chávez, M., Sánchez-Obreiro, G., Madueño, R., Blázquez, M., Del Caño, R. & Pineda, T. (2024). Fluorescent Carbon Dots with Red Emission: A Selective Sensor for Fe (III) Ion Detection. *Chemosensors*, 12(11), 226. doi: 10.3390/chemosensors12110226.
7. Gora, N.V., Belyaeva, O.V., Chernyshyov, D.A., Golubeva, N.S. (2024). Investigation of the possibility of using carbon sorbents to purify natural waters from iron. *Water Supply and Sanitary Technique*, (5), 5-9. (In Russ.). doi: 10.35776/VST.2024.05.01.
8. Gora, N.V., Chernyshev, D.A., Ivanova, L.A., Belyaeva, O.V., Golubeva, N.S., Timoshchuk, I.V., Gorelkina, A.K. (2024). Method for purifying water from iron ions. *Pat. 2815097 C1. Russian Federation, published on 11.03.2024*. (In Russ.).
9. PND F 14L:2:4.50-96 Quantitative chemical analysis of waters. The method of measuring the mass concentration of total iron in drinking, surface and wastewater by photometric method with sulfosalicylic acid. Moscow, 2011.
10. Parfitt, G.D. & Rochester, C.H. (1983). *Adsorption from solution at the solid-liquid interface*. London, N.Y. : Academic Press.

Information about the authors

N.V. Gora - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry of the Kemerovo State University.

D.A. Chernyshev - postgraduate student of the Department of Food Technology of Animal Origin.

G.V. Gurinovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Technology of Animal Origin.

O.V. Belyaeva - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry at Kemerovo State University.