

10. Коренков И.П., Соболев И.А., Польский О.Г. *Радон в коммунальных и промышленных сферах, проблемы нормирования, биологического действия, методики измерения*. М.: ЦИУВ; 1993.
11. Вербова Л.Ф., Роголис В.С., Федина Е.В., Габриелян С.В., Мельников Е.Н., Шакин Д.Ю. и др. Распределение ЭРОА радона в зданиях Москвы и расчет индивидуальных доз облучения населения при его пространственной неоднородности по территории. *Медицина труда и промышленная экология*. 2012; (8): 12–8.
12. Шакин Д.Ю., Лашенова Т.Н. Радиоэкологическая оценка состояния помещений образовательных учреждений по содержанию радона. В кн.: Шibaев С.В., ред. *Труды первой научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию атомной энергетики, «Экологическая безопасность АЭС»*. Калининград: Аксиос; 2014: 151–9.
13. Контрольные уровни обеспечения радиоэкологической безопасности населения г. Москвы. Руководящий документ. М.; 2008.
14. Орлов Ю.В., Ивлев М.В., Зубов В.Ю., Вербова Л.Ф., Коренков И.П. Использование ГИС технологий для анализа данных радиационных обследований объектов окружающей среды. *АНРИ*. 2014; (1): 1–7.
5. Neznal M., Matolin M., Just G., Turek K. Short-term Temporal Variations of Soil Gas Radon Concentration and Comparison of Measurement Techniques. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2004; 108(1): 55–63.
6. US Environmental Protection Agency. Map of Radon Zones. Report 402-R-93-071. Available at: www.epa.gov/radon/zonemap.html
7. Miles J.C., Appleton J.D. Mapping variation in radon potential both between and within geological units. *J. Radiol. Prot.* 2005; 25(3): 257–76.
8. Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *J. Radiol. Prot.* 2013; 33(1): 51–60.
9. Miklyaev P.S., Petrova T.B., Marennyy M.A., Marennyy A.M., Dorozhko A.L., Makeev V.M. The card of fluence of a radon in the territory of Moscow. *ANRI*. 2012; (3): 15–24. (in Russian)
10. Korenkov I.P., Sobolev I.A., Pol'skiy O.G. *Radon in the Municipal and Production Spheres, Problems Rationing, Biological Effect, Measuring Techniques [Radon v kommunal'nykh i promyshlennykh sferakh, problemy normirovaniya, biologicheskoe deystvie, metodiki izmereniya]*. Moscow: TsIUUV; 1993. (in Russian)
11. Verbova L.F., Rogalis V.S., Fedina E.V., Gabrielyan S.V., Mel'nikov E.N., Shakin D.Yu. et al. Distribution of EROA of a radon in buildings of Moscow and calculation of individual exposure doses of the population at it space inhomogeneity across the territory. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2012; (8): 12–8. (in Russian)
12. Shakin D.Yu., Lashchenova T.N. Radio ecological assessment of a condition of rooms educational institutions on the content of radon. In: Shibaev S.V., ed. *Proceedings of the First Scientific-practical Conference with International Participation, Dedicated to the 60th Anniversary of Nuclear Power, «Environmental Safety of Atomic Power Station» [Trudy pervoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 60-letiyu atomnoy energetiki, «Ekologicheskaya bezopasnost' AES»]*. Kaliningrad: Aksios; 2014: 151–9. (in Russian)
13. Master levels of providing radio ecological safety of the population of Moscow. Regulating document. Moscow; 2008. (in Russian)
14. Orlov Yu.V., Ivlev M.V., Zubov V.Yu., Verbova L.F., Korenkov I.P. Using GIS technology for data analysis radiation surveys of the environment. *ANRI*. 2014; (1): 1–7. (in Russian)

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *UNSCEAR 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces*. New York: United Nations; 2009.
2. Results of radiation and hygienic certification in subjects of the Russian Federation 2005–2014. Moscow: Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадзор; 2007. (in Russian)
3. Maksimovskiy V.A., Kharlamov M.G., Mal'tsev A.V., Luchin I.A., Smyslov A.A. Division into districts of the territory of Russia on radon potential. *ANRI*. 1996; (3): 66–73. (in Russian)
4. Miklyaev P.S., Tomashev A.V., Okhrimenko S.E. et al. Maintenance of radionuclides natural an origin in soils of Moscow. *ANRI*. 2000; (1): 17–23. (in Russian)

Поступила 05.10.16
Принята к печати 16.01.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.31:628.16.087

Аракчеев Е.Н.¹, Брунман В.Е.², Брунман М.В.², Коняшин А.В.², Дьяченко В.А.², Петкова А.П.², Некрасов Р.Э.²

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДЫ И СТОКОВ ФЕРРАТОМ НАТРИЯ

¹Группа компаний «Спецмаш», 606000, г. Дзержинск;

²ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург

Рассмотрены области применения феррата натрия для обеззараживания питьевой воды, окисления и коагуляции сточных, ливневых и природных вод. Обоснованы варианты реализации технологии обеззараживания и очистки различных вод ферратом натрия. Рассмотрены и обоснованы принципы построения и функционирования технологической схемы получения и дозирования феррата натрия и конструктивное решение комплексного аппарата для ее реализации. Показана экологическая и экономическая эффективность разработанной технологии по сравнению с аналогами. Приведены результаты апробации электролизного феррата натрия для обеззараживания питьевой воды, окисления и коагуляции сточных, в том числе токсичных, ливневых и поверхностных вод.

Ключевые слова: феррат натрия; обеззараживание воды; очистка стоков; технология; параметры; экспериментальное обоснование эффективности.

Для цитирования: Аракчеев Е.Н., Брунман В.Е., Брунман М.В., Коняшин А.В., Дьяченко В.А., Петкова А.П., Некрасов Р.Э. Экспериментальное обоснование целесообразности обеззараживания и очистки воды и стоков ферратом натрия. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 216–222. DOI: <http://dx.doi.org/10.18822/0016-9900-2017-96-3-216-222>

Arakcheev E.N.¹, Brunman V.E.², Brunman M.V.², Volkov A.N.², Dyachenko V.A.², Kochetkov A.V.³, Petkova A.P.²

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE PRACTICABILITY OF DISINFECTION AND PURIFICATION OF WATER AND WASTEWATERS WITH POTASSIUM FERRATE

¹Dzerzhinsk Limited Liability Company "Group of Companies "Spetsmash", Dzerzhinsk, 606000, Russian Federation;

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, 195251, Russian Federation

There are considered issues of the use of potassium ferrate for disinfection of drinking water, oxidation and coagulation of wastewaters, rainwater and environmental waters. Variety of realizations of technology for different water disinfection and purification using potassium ferrate is proved. Principles of composition and operation of technological flowchart of potassium ferrate producing and dosing and structural solution of complex unit for flowchart's realization are

Для корреспонденции: Аракчеев Евгений Николаевич, Группа компаний «Спецмаш», 606000, г. Дзержинск. E-mail: arakcheew@yandex.ru

analyzed and proved. Ecological and economic efficiencies of developed technology compared to analogs are shown. The results of approbation of the usage of electrolytic potassium ferrate for drinking water disinfection, wastewater oxidation and coagulation, including toxic, rain and environmental waters, are presented.

Key words: potassium ferrate; water disinfection; wastewater purification; technology; characteristics; experimental validation of efficiency.

For citation: Arakcheev E. N., Brunman V. E., Brunman M. V., Volkov A. N., Dyachenko V.A., Kochetkov A.V., Petkova A. P. Experimental substantiation of the practicability of disinfection and purification of water and wastewaters with potassium ferrate. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(3): 216-222. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-3-216-222>

For correspondence: Evgeny N. Arakcheev, MD, postgraduate student, chief engineer of the Dzerzhinsk Limited Liability Company "Group of Companies "Spetsmash", Dzerzhinsk, 606000, Russian Federation. E-mail: arakcheew@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study is executed with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No RFMEFI57514X0080.

Received: 30 November 2016

Accepted: 16 January 2017

Введение

На сегодняшний день существует ряд проблем очистки питьевых, сточных, промышленных и поверхностных вод, которые могут быть решены с применением инновационного реагента раствора феррата натрия [1].

Проблема очистки питьевой воды заключается в поиске реагента, удаляющего большую часть микробов и загрязнителей, в том числе побочных продуктов реакции, образующих широко используемым на данный момент хлором [2].

Проблема очистки стоков связана с запретом на содержание остаточного хлора в водах, сливаемых в реки и водоемы, а также опасностью образования хлорсодержащих высокотоксичных устойчивых химических соединений [3].

Проблема очистки промышленных сточных вод связана с наличием в них токсичных и сложно удаляемых загрязнителей.

Предлагаемый реагент феррат натрия – сильнейший из известных окислителей, кроме того, он обладает выраженными свойствами коагулянта и флокулянта [4–7].

Основным сырьем для производства феррата натрия является раствор щелочи, получаемый на мембранных хлорных производствах как побочный продукт [1].

Современным методом производства феррата натрия является мембранный электролиз [1, 8–10]. Он безопасен, эффективен и может быть реализован на месте применения реагента.

Основными преимуществами получения феррата натрия мембранным электролизом по сравнению с неразделенной ячейкой являются значительное увеличение выхода по току и низкое энергопотребление, связанные с предотвращением разложения феррата на катоде и точной выработкой феррата с адаптивным изменением производительности, в отличие от электролиза в неразделенной ячейке, где используется непроточный режим при неизменной токовой нагрузке. Еще одним преимуществом мембранного электролиза для получения феррата натрия является изоляция газообразного водорода, отводимого из катодной камеры, от газообразного кислорода, выделяющегося при разложении феррата. Из-за разделения камер опасность образования взрывоопасных смесей водорода и остаточного кислорода сводится к минимуму и исключается необходимость в инертной газовой продувке, которая потребовалась бы в неразделенной ячейке [1].

По зарубежным оценкам, технология производства ферратов на месте потребления является наиболее дешевой по сравнению с производством гипохлорита (в том числе и на месте), обработкой ультрафиолетом и озоном как в плане капитальных затрат, так и в плане эксплуатации и технического обслуживания в ценах за 1 л реагента. Использование в технологическом процессе полученной

электролизом 20% щелочи снижает стоимость щелочи в пересчете на сухое вещество более чем в 10 раз по сравнению с аналогами, работающими на 40–45% щелочи при сопоставимых энергозатратах.

В рамках данной работы обсуждаются примеры реализации технологии обеззараживания и очистки питьевых, сточных и промышленных вод ферратом натрия и разработанное для этих целей оборудование.

Области применения электролизного феррата натрия

Обработка воды и стоков ферратами щелочных металлов обеспечивает дезинфицирующее и коагулирующее действие, но не дает пролонгированного эффекта, поэтому может использоваться либо для обработки стоков, либо для обеззараживания воды в сочетании с хлорсодержащими реагентами [1]. Это позволит снизить уровень хлорирования подготовленной воды в системах коммунального водоснабжения или отказаться от первичного хлорирования с заменой его на обработку раствором ферратов, получаемым на месте использования [1].

Авторами была разработана, собрана и испытана установка-прототип промышленного комплексного электролизного агрегата (КЭА) для обеззараживания воды и стоков (рис. 1). КЭА представляет собой независимо функционирующие электролизные модули с индивидуальной системой автоматического управления (САУ) хлоратором (производят анолит для хлорирования воды и щелочь) и ферратор (производит феррат натрия из электролизной щелочи и расходуемого анода). Установка-прототип промышленного КЭА позволяет производить до 1040 г/ч хлора (до 25 кг/сут) при энергозатратах до 3,5 кВтч/кг хлора и до 420 г/ч феррата (до 10 кг/сут) при энергозатратах до 6 кВтч/кг феррата, что позволяет обеззараживать до 300 м³/ч питьевой воды (из расчета до 3,5 мг/л) и до 80 м³/ч сточных вод (из расчета до 5 мг/л). Концентрации хлора и феррата, достаточные для обеззараживания и очистки воды, существенно зависят от ее загрязненности, поэтому указаны усредненные значения концентраций реагентов.

В соответствии с предложенной в [1] концепцией при раздельном функционировании модулей производства феррата и анолита в пространстве и во времени, хлораторы, работающие на водоканале, производят хлор для обеззараживания питьевой воды и в качестве побочного продукта электролиза – щелочь с концентрацией около 20%. Ферраторы, использующие произведенную хлораторами щелочь, могут устанавливаться на очистных сооружениях в промышленности для очистки токсичных стоков, на полигонах токсичных отходов, на очистных сооружениях

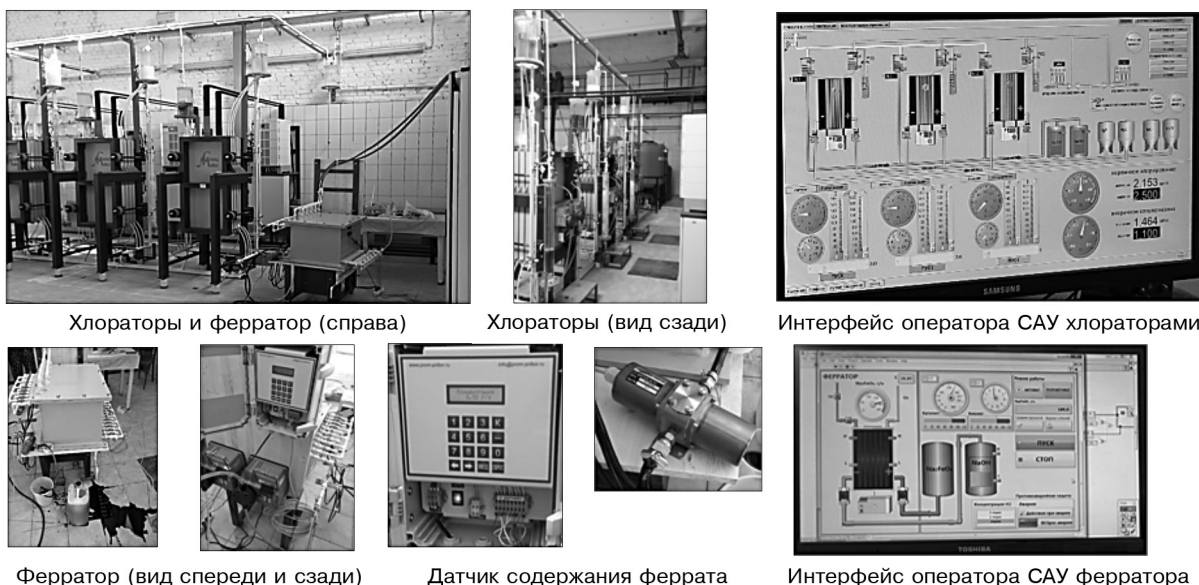


Рис. 1. Установка-прототип промышленного КЭА.

для доочистки сточных вод хозяйственного назначения, для очистки природных и ливневых вод.

Разработанная конструкция модуля для производства феррата натрия практически на 80% состоит из покупных, серийно выпускаемых модулей, а сам ферратор имеет низкую себестоимость и легко масштабируется под заданную производительность. Ферраторы могут встраиваться в уже существующие технологические процессы обеззараживания и очистки воды и стоков вместо существующих модулей либо в качестве модулей новых комплексных устройств для промышленного производства и применения на месте феррата натрия, принцип устройства и конструктивное исполнение которых будут описаны ниже.

Таким образом, можно выделить следующие основные перспективные направления применения электролизного феррата натрия и модуля для его получения:

- обеззараживание питьевой воды на станциях водоподготовки вместо первичного хлорирования;
- обеззараживание стоков (доочистка после аэрации и биологической очистки) вместо гипохлорита;
- очистка и детоксикация промышленных стоков;
- очистка и обеззараживание вод водоемов, бассейнов, водохранилищ, полигонов.

Технологии применения феррата натрия

В указанных областях применения возможны следующие варианты реализации технологии обеззараживания и очистки различных вод ферратом натрия.

Обработка питьевых вод ферратом на станциях водоподготовки вместо первичного хлорирования (рис. 2) позволяет уменьшить объем выработки хлора (только для вторичного хлорирования для пролонгированного эф-

фекта обеззараживания) и улучшить качество первичной подготовки воды ввиду более широкого спектра действия феррата и меньшей минимально необходимой дозы реагента (0,5–2 мг/л) по сравнению с хлором (2,5–8 мг/л). Себестоимость ферратного электролизера с полимерным корпусом и стальными электродами ниже, чем хлорного с титановыми анодами и стальными катодами. Себестоимость самого феррата по сравнению с электролизным хлором для обеззараживания 1 м³ воды примерно одинаковая.

Эффективность обеззараживания раствором феррата натрия в 20% NaOH по сравнению с электролизным хлором апробирована на питьевой воде из реки Волга по стандартной методике водоканала, применяемой при хлорировании воды. Общие колиморфные бактерии (ОКБ) и термотолерантные колиморфные бактерии (ТКБ) не обнаружены при введенных дозах феррата начиная с 0,5 мг/л. Количество хлора, необходимое для получения такого же результата, составило 4,5 мг/л. Качество воды после обеззараживания раствором феррата натрия соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01.

Очистка стоков хозяйственно-бытового назначения – доочистка и обеззараживание на последнем этапе после предварительной обработки в аэротенках и биологической очистки (рис. 3). Замена гипохлорита на феррат натрия позволяет повысить эффективность обработки при меньших необходимых дозах реагента на литр сточной воды (5–6 мг/л) по сравнению с гипохлоритом (12–15 мг/л) и отказаться от хлорсодержащего гипохлорита [11]. Так как феррат при окислении образует нетоксичный гидроксид железа, повышается экологичность очистки стоков. Замена гипохлорита на феррат натрия при доочистке сточных вод предотвратит образование токсичных хлорсодержащих соединений (хлорфенол и др.), а также обеспечит возможность сброса сточных вод после обеззараживания ферратом в поверхностные источники.

Очистка ферратами промышленных стоков, в том числе токсичных. Очистка раствором феррата натрия промышленных сточных вод апробирована на воде трех кислых карт 59, 66 и 67

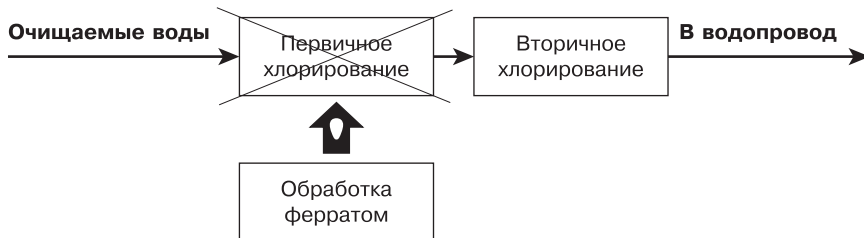


Рис. 2. Замена первичного хлорирования на окисление ферратом натрия.

полигона «Красный Бор» под Санкт-Петербургом (рис. 4). По карте 59 наблюдается снижение концентрации азота общего с 480 до 48, хлоридов с 1500 до 520, нефтепродуктов с 0,43 до 0,05; рН увеличился с 4,0 до 9,0, вода соответствует ПДК к хозяйственным стокам.

Воду 64-й карты полигона «Красный Бор» до (бирюзовая линия) и после (черная линия) введения 60 мг/л феррата натрия экстрагировали в CH_2Cl_2 и сняли хроматограмму. По масс-спектру основные пики соответствуют циклогексанолу, бутановой кислоте, циклогексанону, гептановой кислоте и 2-дибутиламиноэтиламину (рис. 5). После обработки ферратом их либо не стало, либо их концентрации уменьшились, кроме циклогексанола.

Полученные результаты показали высокую эффективность феррата в очистке промышленных стоков с содержанием токсичных химических веществ.

Для уменьшения времени реакции, отставания и ускорения фильтрования с доочисткой и коррекцией рН предложена следующая технологическая схема установки получения и дозирования феррата натрия (рис. 6, а). Очищаемая вода подается в реакционную камеру, где в нее добавляется необходимая доза феррата и при необходимости коагулянта. Далее вода попадает в камеру осаждения, где образуются и оседают хлопья загрязнителей (окисленная органика, токсичные вещества). Далее вода проходит через сорбент для окончательной фильтрации и корректировки рН. Подбор дозы феррата, коагулянта и типа сорбента, в том числе и многослойной засыпки, осуществляется под конкретную задачу.

Очистка вод ливневой канализации. Для отработки фильтроциклов на ливневых водах полигона «Красный Бор» был собран макет комплексного аппарата (рис. 6, б) в соответствии с приведенной на рис. 6, а технологической схемой.

Комплексный аппарат (КА), использующий феррат натрия (Na_2FeO_4) для коагуляции, флотации и обеззараживания вод, состоит из двух функциональных блоков.

Первый блок аппарата (блок мембранного электролиза) предназначен для производства феррата натрия путем электрохимического растворения Fe^{3+} в 20% NaOH . В катодную и анодную камеры электролизера, разделенного катионообменной мембраной, поступает раствор гидроксида натрия, а затем на электроды подается постоянный ток. В качестве расходного электрода используется стальной анод. Для отделения появляющихся в ходе реакции ионов используется ионоселективная мембрана, благодаря которой феррат натрия остается в анодной камере, а щелочь – в катодной; выделяющиеся газы водород и кислород отводятся из ка-

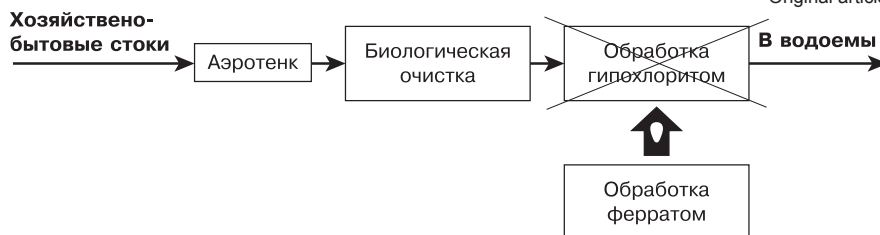
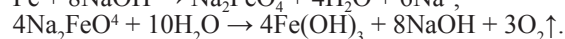
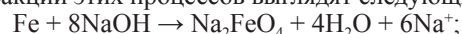
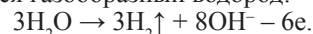


Рис. 3. Доочистка стоков хозяйственно-бытового назначения.

тодной и анодной камер через газоотводящие трубки, не смешиваясь. Под действием электрического тока на поверхности анода образуются переходные слои гидроксокомплексов железа разных степеней окисления. Последней, шестой, степенью окисления железа является феррат (VI) натрия. При этом в анодной камере также образуются катионы натрия Na^+ , проходящие через мембрану в катодную камеру. Также в анодной камере при постепенном разложении феррата выделяется газообразный кислород. Реакции этих процессов выглядят следующим образом:



В катодной камере, куда через катионообменную мембрану проходят катионы натрия, незначительно повышается концентрация раствора гидроксида натрия и выделяется газообразный водород:



Определение концентрации феррата в полученном продукте осуществляется фотометрическим методом.

Условия процесса электролиза: объем анодной камеры 250 мл, ток 3 А, концентрация NaOH 20%, расход NaOH 0,5 л/ч, производство раствора феррата 0,5 л/ч, концентрация феррата в растворе – 6 г/л, размеры электрода 52×100 мм, площадь электрода $30,75 \text{ см}^2$, плотность тока $0,05 \text{ А/см}^2$, температура процесса $30-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Опционно совместно с ферратом могут быть использованы коагулянты на основе железа или алюминия для ускорения процесса укрупнения и осаждения коллоидных частиц в очищаемой воде. Совместное использование коагулянтов и феррата может значительно сократить время укрупнения и осаждения коллоидных частиц и как следствие уменьшить габариты аппарата и повысить его производительность.

Второй блок аппарата (блок водоподготовки) представляет собой три колонны для окисления и коагуляции активными реагентами (ферратом натрия и коагулянтам), отставания для отделения осадка и доочистки фильтрацией через сорбенты.

Первая колонна (реакционная), куда непосредственно подается очищаемая вода, предназначена для порционно-го введения реагентов. Процесс коагуляции начинается



Исходная вода 59, 66 и 67 кислых карт



После окисления 60 мг/л феррата и отстаивания



После фильтрования осадки на фильтрах

Рис. 4. Результаты обработки ферратом натрия токсичных вод с карт полигона «Красный Бор».

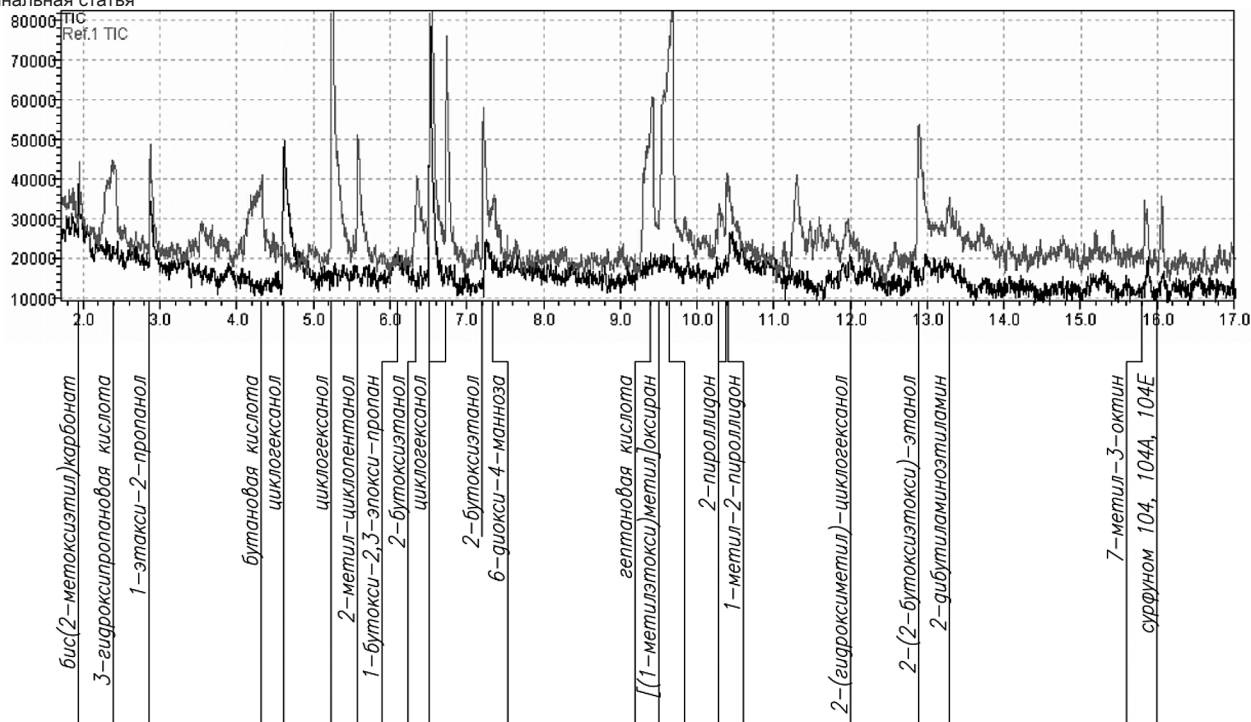


Рис. 5. Хроматограммы воды 64-й карты до и после окисления ферратом.

незамедлительно – большая часть образовавшихся частиц становится визуально наблюдаемой уже в первые минуты действия реагентов. Насосы для подачи воды и реагентов создают постоянное перемешивание взвеси ввиду того, что сопла для подачи находятся выше максимального уровня воды в колоннах и образующиеся вихревые потоки перемешивают до 25% объема воды первой колонны.

Вторая колонна (осветлитель) конструктивно схожа с первой. В ней также присутствуют сопла для подачи реагентов (опционно), но основной ее функцией является осаждение образовавшихся хлопьев при ламинарном движении воды.

Третья колонна (засыпной фильтр) представляет собой сорбционный фильтр с ионообменной загрузкой, который необходим для выравнивания ионного баланса и фильтрации ионов железа, марганца, алюминия и др. Он позволяет скорректировать рН и снизить жесткость воды, а также

за счет подбора ионообменной загрузки под конкретную задачу (в том числе и многослойной) осуществлять доочистку воды от ряда химических соединений и органических остатков.

По сравнению с аналогами (мембранные электролизеры для выработки феррата натрия [12–13] и установкой для очистки природных вод «Капля» [14]) предлагаемый КА имеет ряд преимуществ:

1) использование в технологическом процессе 20% электролизной щелочи снижает стоимость щелочи в пересчете на сухое вещество более чем в 10–11 раз по сравнению с аналогами, работающими на 40–45% щелочи при сопоставимых энергозатратах [12–13];

2) выбранные параметры процесса мембранного электролиза феррата натрия обеспечивают незначительные затраты электроэнергии и позволяют использовать электролизную щелочь;

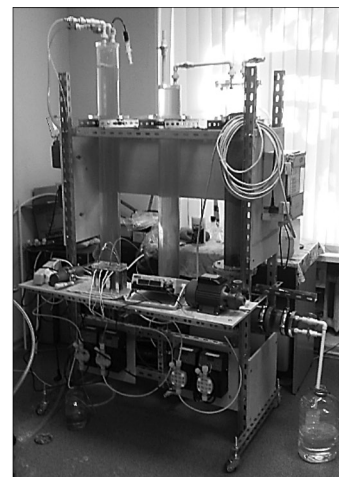
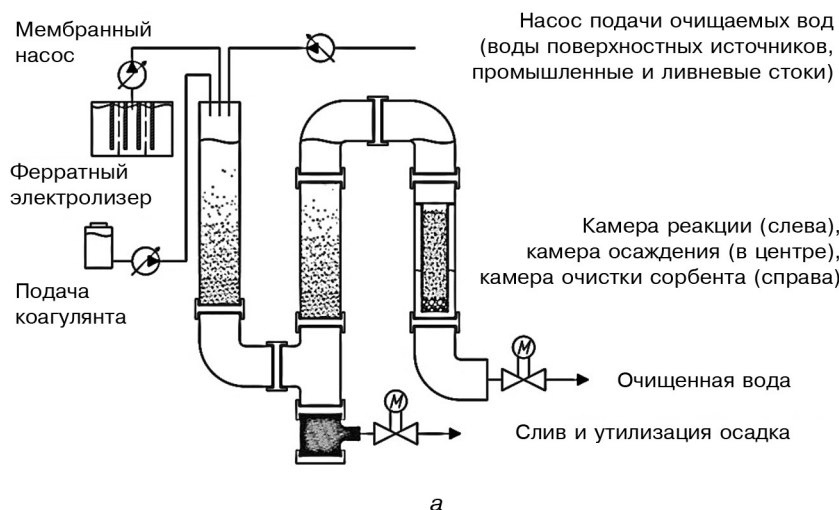


Рис. 6. Технологическая схема очистки стоков ферратом натрия (а) и макет комплексного аппарата (б) для ее реализации.

3) замена дорогостоящей реагентной обработки на дезинфекцию, окисление и коагуляцию ферратом обеспечивает снижение дозы реагентов, стоимости обработки и ее экологичности;

4) наличие осветлительного модуля увеличивает время осаждения образовавшихся хлопьев при сохранении скорости потока (по сравнению с установкой «Капля» [14]);

5) осажденные хлопья в виде ила могут быть легко изъят из контура водоподготовки, что позволяет прямо на месте подготовить опасные высококонцентрированные отходы к дальнейшей обработке и утилизации;

6) использование сорбционного фильтра с многослойными загрузками позволяет осуществлять доочистку воды от ряда химических соединений и органических остатков, за счет чего повысить качество обрабатываемой воды до принятых норм хозяйственных стоков.

Абсолютное отсутствие хлора и хлорсодержащих агентов в реакциях соответствует современным нормам качества водоподготовки сточных вод и допускает их слив в естественные водоемы.

Обработка фильтроциклов на КА осуществлялась на ливневых водах, отобранных с разных участков ливневой сточной канализации на полигоне «Красный Бор».

Результаты экспериментальной отработки различных фильтроциклов на КА приведены ниже.

1. Перед административным корпусом ливневые стоки с меньшей мутностью и цветностью (светлая), необходимая доза феррата 9 мг/л + 10 мг оксихлорида алюминия, время реакции и осаждения осадка 10–15 мин. После окисления, отстаивания и фильтрации через двухслойную загрузку сорбентов МС + АС со скоростью потока 0,4 л/мин мутность и цветность соответствуют требованиям ПДК к хозяйственным стокам, рН 8,2, запах отсутствует.

2. Ливневые стоки со станции переработки ливневых вод, куда они поступают из прудов-отстойников, с большей мутностью и цветностью (темная), с запахом нефтепродуктов, необходимая доза феррата 18 мг/л + 20 мг оксихлорида алюминия, время реакции и осаждения осадка 10–15 мин. После окисления, отстаивания и фильтрации через двухслойную загрузку сорбентов МС + АС со скоростью потока 0,2 л/мин мутность и цветность соответствуют требованиям ПДК к хозяйству, рН 8,8, запах отсутствует.

3. Ливневые стоки, загрязненные водами с карт перед прудами-отстойниками с высокой мутностью и цветностью (сине-серая), с запахом сточной воды и нефтепродуктов, необходимая доза феррата 20 мг/л + 25 мг оксихлорида алюминия, время реакции и осаждения осадка 10–15 мин. После окисления, отстаивания и фильтрации через сорбент МС + АС со скоростью потока 0,2 л/мин мутность и цветность соответствуют требованиям ПДК к хозяйству, рН 8,9, запах практически отсутствует.

Результаты, полученные на ливневых водах, свидетельствуют об эффективности предложенной технологической схемы для очистки ливневых стоков, в том числе и токсичных.

Очистка воды поверхностных источников

Феррат был опробован в качестве коагулянта для очистки воды искусственного водоема с цветностью 140 град. и мутностью 28 (см. таблицу), обусловленными высокодисперсными частицами глины с размерами 0,1–0,5 мкм (98%) и 1–2 мкм (2%). Совместное введение оксихлорида алюминия (50 мг/л) и феррата натрия (0,2 мл/л или 1,2 мг/л) позволило получить результат не хуже, чем при введении 100 мг/л коагулянта, и довести воду до требова-

Апробация очистки воды искусственного водоема ферратом натрия

Показатель	Исходная вода	40 мг ОХАл + ферр + АС	50 мг ОХАл + ферр + АС
Цветность, град	140	44	35
Мутность по каолину, мг/л	28	1,2	1,1

ний ПДК к питьевой воде (цветность 35 град, мутность 1,2). Время реакции составляло 10–15 минут, скорость потока 0,4 л/мин, фильтрация через двухслойную загрузку сорбентов МС + АС, рН 7,85, запах отсутствует.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования предложенной технологической схемы в очистке и обеззараживании вод поверхностных источников.

Выводы

1. Обработка воды и стоков ферратами щелочных металлов обеспечивает дезинфицирующее и коагулирующее действие, но не дает пролонгированного эффекта, поэтому в современных условиях может использоваться либо для обработки стоков, либо для обеззараживания воды в сочетании с хлорсодержащими реагентами. Это позволит снизить уровень хлорирования подготовленной воды в системах коммунального водоснабжения или отказаться от первичного хлорирования с заменой его на обработку раствором ферратов, получаемым на месте использования.

2. Предложены варианты реализации технологии обеззараживания и очистки питьевых, сточных и промышленных вод ферратом натрия в существующие технологические процессы и разработанное для этих целей оборудование. Ферратеры, использующие полученную электролизом щелочь, могут устанавливаться на промышленных очистных сооружениях для очистки токсичных стоков, полигонах токсичных отходов, очистных сооружениях для доочистки сточных вод хозяйственного назначения, для очистки природных и ливневых вод.

3. Сточные воды, обработанные ферратом натрия, не содержат хлора и его соединений, что соответствует современным нормам качества водоподготовки сточных вод и допускает их слив в естественные водоемы.

4. Разработан, изготовлен и испытан макет комплексного агрегата для производства и применения на месте феррата натрия для очистки и обеззараживания питьевых, сточных и промышленных вод. Он включает в себя модуль синтеза феррата и модуль водоподготовки, содержащий модули окисления, отстаивания и фильтрации. Основными преимуществами предлагаемой технологии являются использование дешевой электролизной щелочи в электролизе феррата натрия, замена дорогостоящей реагентной обработки на окисление, коагуляция и дезинфекция ферратом и масштабируемость решения на требуемую производительность при известных концентрациях реагентов и скорости потока, определяемых в конкретных условиях водоподготовки.

Финансирование. Работа выполняется при финансовой поддержке Минобрнауки России, номер проекта RFMEFI57514X0080.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 4–7, 9, 10, 12, 13 см. References)

- Аракчеев Е.Н., Брунман В.Е., Брунман М.В., Волков А.Н., Дьяченко В.А., Кочетков А.В. и др. Современная перспективная технология обеззараживания воды и стоков. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(4): 25–31.
- Хенце М., Армозс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. *Очистка сточных вод*. Пер. с англ. М.: Мир; 2006.

3. СанПиН 4630–88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. М.; 1988.
8. Головкин Д.А. Особенности электрохимического получения растворов феррата (VI) натрия из вторичного сырья. *Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт*. 2013; (47): 26–33.
11. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10 – 2015. М.: Бюро НДТ; 2015.
14. Ивкин П.А., Латышев А.С. Совершенствование технологии очистки высокоцветных и маломутных вод. *Водоснабжение и Санитарная техника*. 2010; (7): 38–47.

6. Sharma V.K., Jiang J.Q., Bouzek K., eds. *Innovative Ferrate (VI) Technology in Water and Wastewater Treatment: Proceedings of International Symposium*. Prague; 2004.
7. Light S., Yu X. Recent Advances in Fe (VI) Synthesis. In: Sharma V., ed. *Ferrates. Synthesis, Properties, and Applications in Water and Wastewater Treatment*. Washington: American Chemical Society; 2008: 2–51.
8. Golovko D.A. Features of electrochemical production of ferrate (VI) solution from recycled materials. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta Khar'kovskiy politekhnicheskiiy institut*. 2013; (47): 26–33. (in Russian)
9. Alsheyab M., Jiang J.Q., Stanford C. On-line production of ferrate with an electrochemical method and its potential application for wastewater treatment – a review. *J. Environ. Manage.* 2009; 90(3): 1350–6.
10. Yang B., Ying G.G., Zhao J.L., Liu S., Zhou L.J., Chen F. Removal of selected endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) during ferrate (VI) treatment of secondary wastewater effluents. *Water Res.* 2012; 46(7): 2194–204.
11. Wastewater purification using centralized system of wastewater discharge for settlements, urban districts. Informational-technical reference book of best available ITC technologies vol. 10 – 2015. Moscow: NDT Bureau; 2015. (in Russian)
12. Kwon J.H., Kim H.S., Kim I.K., Yim S.B., Choi K.P., Lee D.B. et al. Ferrate synthesis method and apparatus by electrochemical method. Patent KR 20130112217; 2013.
13. Wang L., Ma J., Li X.; Wang L., Zhang H. On-line addition device for three-dimensional electrode electrochemical oxidation ferrate solution. Patent CN 102925919; 2013.
14. Ivkin P.A., Latsyshev A.S. Improvement of technology of high colored and low turbidity water treatment. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya tekhnika*. 2010; (7): 38–47. (in Russian)

References

1. Arakcheev E.N., Brunman V.E., Brunman M.V., Volkov A.N., D'yachenko V.A., Kochetkov A.V. et al. Modern advanced technology for disinfection of water and wastewater. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(4): 25–31. (in Russian)
2. Henze, M., Harremoës P., Cour Jansen J. la, Arvin E. *Wastewater Treatment*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2002.
3. СанПиН 4630–88. Sanitary rules and norms for the protection of surface waters from pollution. Moscow; 1988. (in Russian)
4. Sharma V.K. Oxidation of inorganic compounds by ferrate (VI) and ferrate (V): One-electron and two-electron transfer steps. *Environ. Sci. Technol.* 2010; 44(13): 5148–52.
5. Jiang J.Q. Progress in the Development and Use of Ferrate Salt as An Oxidant and Coagulant for Water and Wastewater Treatment. *Water Res.* 2002; 36(6): 1397–408.

Поступила 30.11.16
Принята к печати 16.01.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 614.7(574.54)

Хантурина Г.Р., Сейткасымова Г.Ж., Федорова И.А.

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЗОНАМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В РЕГИОНЕ ПРИАРАЛЬЯ

РГКП Национальный центр гигиены труда и профессиональных заболеваний Министерства здравоохранения и социального развития Республики Казахстан, 100017, Караганда, Казахстан

Проведена эколого-гигиеническая оценка окружающей среды территорий, прилегающих к зонам антропогенного воздействия в холодный период года. Объект исследования – экологически неблагоприятный регион Приаралья – населенный пункт пос. Айтеке-Би Кызылординской области Казахстана. Целью исследователей работ явилось выявление в окружающей среде поселка Айтеке-Би химических загрязняющих веществ. При проведении исследований использован комплекс современных сертифицированных эколого-гигиенических, химико-аналитических и статических методов анализа (фотоионизационный, электрохимический, оптический, фотометрический, комплексометрический, весовой, титриметрический). Результаты исследований атмосферного воздуха показали превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) взвешенных веществ 1,78 ПДК_с, индекса загрязнения атмосферы низкий (ИЗА_д 1,3 у.е.). Количественный химический анализ питьевой воды показал присутствие малых концентраций тяжелых металлов: кадмий 0,3 ПДК, никель 0,5 ПДК, железо 0,4 ПДК, цинк 0,6 ПДК, кобальт 0,4 ПДК, (индекс загрязненности воды (ИЗВ) 0,2 у.е.), вода чистая – 2-й класс качества. Выявлен низкий уровень загрязнения почвы (Zc 0,1 у.е.), однако во всех пробах отмечено превышение ПДК сульфатов (в 193,8 раза) и хлоридов (в 3,9 раза). Обнаруженные на всей территории поселка Айтеке-Би концентрации загрязняющих химических веществ связаны с деятельностью более 21 предприятия, производящих кислород, строительные материалы, металлопластиковые изделия, проводящие разведку и добычу полезных ископаемых. Каждое из выявленных химических веществ широко используются в производстве, вследствие чего они накапливаются в окружающей среде и легко попадают в организм человека как с продуктами питания и водой, так и при вдыхании воздуха. Наблюдается хроническое интоксикация химическими веществами.

Ключевые слова: экосистема; антропогенное воздействие; атмосфера; почва; вода; тяжелые металлы; индекс загрязнения.

Для цитирования: Хантурина Г.Р., Сейткасымова Г.Ж., Федорова И.А. Эколого-гигиеническая оценка окружающей среды территорий, прилегающих к зонам антропогенного воздействия в регионе Приаралья. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 222–226. DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-3-222-226>

Для корреспонденции: Хантурина Гульнара Рашитовна, д-р биол. наук, доц., руководитель лаборатории экологической гигиены и токсикологии РГКП Национальный центр гигиены труда и профессиональных заболеваний МЗ СР РК, 100017, Караганда, Казахстан. E-mail: gkhanturina@gmail.com