

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В РЕЧНОЙ ВОДЕ НА ТЕХНОЛОГИЮ ОЧИСТКИ

А. Г. Жулин, Л. В. Белова, П. А. Семенов
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

INFLUENCE OF IRON CONCENTRATION IN RIVER WATER ON TREATMENT TECHNOLOGY

Alexander G. Zhulin, Larisa V. Belova, Pavel A. Semyonov
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В воде поверхностных источников могут присутствовать различные соединения железа в растворенной коллоидной и комплексной форме. Содержание железа в воде р. Туры в зависимости от времени года изменяется в пределах 0.12–3.8 мг/дм³. Многообразие форм железа в речной воде в зависимости от внутригодовых изменений требует применения соответствующих технологий его устранения. Удаление большинства соединений железа осуществляется коагулированием и при наличии комплексных соединений – с применением окислителей. По результатам систематических анализов качественных показателей воды р. Туры лаборатории ВОС Метелевского водозабора представлены графические зависимости количественных значений железа: от уровня воды (расхода реки), мутности, цветности, окисляемости и водородного показателя рН. В связи с влиянием формы соединения железа в природной воде на эффективный выбор технологии подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения, для различных периодов года в общем железе определены соотношения двух- и трехвалентного железа в речной воде в зависимости от величины окислительно-восстановительного (Eh) и водородного (рН) показателей. Результаты исследования по-

Abstract. Various iron compounds in dissolved colloidal and complex forms can be found in the surface source water. Iron content in the water of the Tura depends on the time of year and changes from 0.12 to 3.8 mg/dm³. The variety of iron forms in river water depending on annual changes requires the application of relevant technologies for its elimination. Most iron compounds are removed by coagulation and, if complex compounds are present, by the use of oxidizing agents. Systematic analyses of qualitative indicators of the Tura water by the laboratory of Metelevsky water treatment plant of Metelevsky water intake made it possible to graph the dependences of iron quantitative values on water level (river flow rate), turbidity, colour, oxidation susceptibility and hydrogen pH. Since the forms of iron compounds in natural water affect the effective choice of water treatment technology for household and drinking water, the ratios of iron (II) and iron (III) in total iron in river water depending on the value of redox (Eh) and hydrogen (pH) indices were determined for different periods of the year. The results of the study showed that during water treatment it is necessary to carry out aeration with the introduction of oxidizing agent. The objectives of the study were to identify the ratio of iron (II) and iron (III) in total iron in river water for different

казали, что при подготовке воды необходимо осуществлять ее аэрацию с вводом окислителя. В задачи исследования входило выявление в составе общего железа речной воды соотношения двух- и трехвалентного железа для различных периодов года по величине Eh и pH. Соотношение форм железа в природной воде имеет значение при выборе технологии подготовки воды для хозяйственно-питьевых целей. В результате исследований установлено, что при общем содержании железа в воде р. Туры 0.67 мг/дм³ количество двухвалентного железа составило 60 % и трехвалентного – 40 %.

Ключевые слова: формы железа в воде, двух- и трехвалентное железо, гуминовые комплексы, железобактерии, водородный показатель (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh)

Для цитирования: Жулин, А. Г. Влияние содержания железа в речной воде на технологию очистки / А. Г. Жулин, Л. В. Белова, П. А. Семенов. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-84-94. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 2 (108). – С. 84–94.

For citation: Zhulin, A. G., Belova, L. V., & Semyonov, P. A. (2024). Influence of iron concentration in river water on treatment technology. *Architecture, Construction, Transport*, (2(108)), pp. 84-94. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-84-94.

1. Введение

Наличие железа в природных водах связывается с контактностью воды с донными осадками органических и неорганических соединений, при этом в результате активной жизнедеятельности бактерий образуются минеральные кислоты, которые переводят нерастворимые формы соединений в растворимые, в частности, кристаллический карбонат железа $\text{FeCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. В зависимости от периода года в воде наличествуют и органические соединения, влияющие на соотношение двухвалентного и трехвалентного железа. В межсезонье в отсутствие поступления в поверхностные источники осадков питание осуществляется подземными водами, которые обычно имеют высококонцентрированные железосодержащие примеси. Широкий диапазон источников поступления соединений железа в

periods of a year in terms of Eh and pH values. The ratio of iron forms in natural water is important in the choice of water treatment technology for domestic and drinking purposes. The research showed that if total iron content in the Tura water was 0.67 mg/dm³ the amount of iron (II) was 60 percent and iron (III) was 40 percent.

Key words: iron forms in the water, iron (II), iron (III), humic substances, iron bacteria, pH value, redox potential (Eh)

природные воды связывается с жизнедеятельностью человека (сточные воды бытовые), работой промышленных и добывающих предприятий.

При подготовке воды ВОС Метелевского водозабора г. Тюмени, забирающего воду из р. Туры, в отдельные периоды года содержание железа может достигать высоких значений (3.8 мг/дм³), что требует проведения соответствующих мероприятий для его снижения.

Вода, с концентрацией железа более 1.0–1.5 мг/дм³ имеет желтовато-бурую окраску, повышенную мутность, железистый привкус, и при наличии растворенного железа в системе водоснабжения происходит интенсивное образование хлопьевидного осадка, который способствует вторичному загрязнению воды [1, 2].

Железо в земной коре по наличию занимает четвертое место среди ведущих элементов.

Активная деятельность человека ускорила перераспределение металлов между различными компонентами окружающей среды.

Ввиду значительной распространенности в природе железо встречается в кристаллических и растворенных соединениях. Насыщение вод происходит в результате химического разложения горных пород в сочетании с выветриванием и растворением [3]. В природных водах растворенное железо может находиться в неорганических ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeS и др.) и в комплексных органоминеральных соединениях [4]. В поверхностных водах железо находится в коллоидной форме и часто входит в состав органических соединений [5, 6]. Соединения железа в различных состояниях в природных водах представлены на рис. 1 [7].

Дополнительными источниками поступления различных форм железа являются:

- промышленные и горнодобывающие предприятия;
- сельское хозяйство;

- воздушный перенос;
- сточные воды.

Поверхностные воды служат основным источником водоснабжения большинства городов и других объектов. Содержание железа в таких источниках обычно находится в пределах десятых долей миллиграмма на литр, но может превышать допустимую норму (0.3 мг/дм^3). В зависимости от происхождения и времени года железо может находиться либо в виде взвешенного ила, либо в растворенном состоянии, либо в составе комплексов с солями гуминовых кислот (гуматы). Наибольшее содержание железа наблюдается в болотных водах [4–6, 8], где концентрация гумусовых веществ велика, что характерно для Тюменского региона.

Источниками наличия железа в р. Туре могут являться топографические факторы – исток реки начинается с железорудных гор Урала, по ходу протекания русло пересекает болота с высокими концентрациями гумусовых и других органических примесей. Но основные объемы

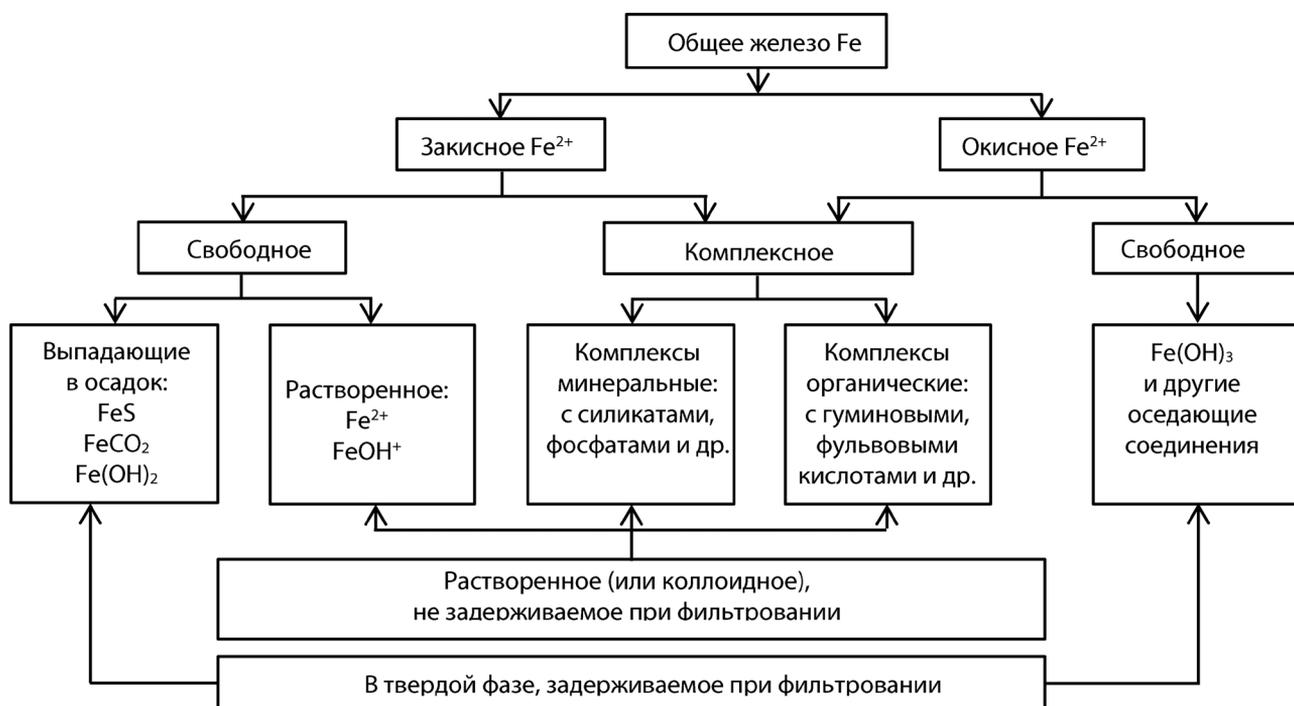


Рис. 1. Формы железа в природной воде
Fig. 1. Iron forms in natural water

загрязняющих веществ в воду р. Туры поступают со сточными водами городов и расположенных в них промышленных и автомобильных предприятий [9].

В некоторые периоды года содержание железа в воде может превышать 10 мг/дм³ [9]. Если исток реки и далее река находятся в контакте с болотными водами, то из-за наличия гидравлической связи в реке будут присутствовать органические формы, особенно в массовом количестве зимой, ввиду отсутствия контакта воды с кислородом воздуха.

Гуминовые комплексы железа относят к растворенному органическому железу. Во взвешенном состоянии железо входит в состав коллоидных частиц, образованных высокомолекулярными соединениями (танины, лигнины), и как продукт жизнедеятельности бактерий, окисляющих железо.

К наиболее часто встречающимся видам железобактерий относятся [10, 11, 12]:

- *Leptothrix ochracea* – бактерия рода *Leptothrix*, обитает в пресной воде, насыщенной железом, и в болотах с низкой концентрацией органических веществ;
- *Gallionella ferruginea* – палочкообразная нитчатая бактерия, обитает в воде с включениями железа и марганца;
- *Mariprofundus Ferrooxydans* – нейтрофильная хемолитотрофная грамотрицательная бактерия, окисляет двухвалентное железо в трехвалентное в качестве питательных веществ.

Важнейшими агентами восстановительных реакций в природных водах являются микроорганизмы, разлагающие органическое вещество. В условиях восстановительной среды трехвалентное железо переходит в двухвалентную форму [13].

Показателем возможного окисления металлов является величина окислительно-восстановительного потенциала Eh природной воды. Eh природных вод колеблется в диапазоне от -400 до $+700$ мВ. В этом интервале значений Eh в зависимости от pH железо находится в двух- и трехвалентном состоянии.

Форма наличия железа в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала и pH может быть рассчитана по уравнениям [8, 14]: для слабоминерализованных вод с неорганическими соединениями:

$$\frac{[Ок.]}{[Вос.]} = 10^{\frac{(Eh - E^0)^n}{0.0591 + 0.0002(t - 25^\circ C)} + m \cdot pH}, \quad (1)$$

и в случае связывания ионов металла в комплексные соединения:

$$\frac{C_{Ок.}}{C_{Вос.}} = \frac{1 + \sum_i^p \beta_{p(Ок.)} \cdot [L]^p}{1 + \sum_i^q \beta_{q(Вос.)} \cdot [L]^q} \cdot 10^{\frac{(Eh - E^0)^n}{0.0591 + 0.0002(t - 25^\circ C)} + m \cdot pH}, \quad (2)$$

где $Ок.$ – концентрация окисленной части, мг/дм³; $Вос.$ – концентрация восстановленной части, мг/дм³;

E^0 – стандартный потенциал рассматриваемой окислительно-восстановительной системы;

t – температура воды, °C;

Eh – значение окислительно-восстановительного потенциала речной воды, В;

pH – водородный показатель речной воды;

$\beta_{p(Ок.)}$ и $\beta_{q(Вос.)}$ – общие устойчивости комплексов $[Ок. L_p]$ и $[Вос. L_q]$;

$C_{Ок.}$ и $C_{Вос.}$ – суммарные концентрации всех форм металла в окисленном и восстановленном состоянии;

$[L]$ – равновесная концентрация лиганда (гидроксильного иона).

Соотношение Fe (III) и Fe (II) может измениться, если в воде присутствуют:

- комплексообразующие элементы;
- окислители (хлор, гипохлорит натрия, двуокись хлора, перманганат калия, озон, перекись водорода и др.);
- окисляющие бактерии;
- антропогенные загрязнения.

Возможно влияние ультрафиолета, при этом эффективность фотохимического окисления зависит от кислотности среды или присутствия ка-

тализаторов, а также от интенсивности и времени облучения [15].

Расчеты, выполненные по уравнению (2), приведены в таблице 1 и подтверждают преобладание Fe (II) при низких pH и Eh, что соответствует составу болотных и грунтовых вод, а при высоких pH и Eh присутствие Fe (III) наблюдается уже в большем количестве.

Таблица 1/Table 1
Влияние pH и Eh среды на наличие форм железа +3 и +2, % [8]
Effect of pH and Eh of the water on the presence of iron forms (III and II), % [8]

pH	Eh = +0.5 В		Eh = +0.3 В		Eh = +0.1 В	
	Fe (III)	Fe (II)	Fe (III)	Fe (II)	Fe (III)	Fe (II)
8.0	100.00	0.0	99.81	0.19	17.56	82.44
7.0	99.99	0.01	82.61	17.39	0.20	99.80
6.0	97.00	3.00	1.31	98.69	0.00	100.00

Но следует отметить, что экспериментальные методы более надежны.

Цель исследований – выявить соотношение природных форм железа в р. Туре в зависимости от сезона года для оптимизации процесса реагентной обработки и выбора технологической схемы подготовки воды хозяйственно-питьевого назначения, удовлетворяющей требованиям СанПиН¹.

2. Материалы и методы

Аналитический обзор и выявление особенностей количественного содержания железа воды р. Туры проводились с использованием

данных рабочих журналов ВОС Метелевского водозабора управления Водоканала г. Тюмени. Рассматривались результаты анализов за последние 8 лет, отнесенные к одной дате – 10-й день каждого месяца года. Зависимости содержания железа в речной воде представлены в виде сравнительных графиков изменения показателей от: уровней воды (соотношение водного баланса – расхода воды), цветности, pH, перманганатной окисляемости.

Исследования по выявлению форм железа в речной воде, а также изменения параметров Eh и pH в процессе дегазации-аэрации проводились в лаборатории кафедры инженерных систем и сооружений Тюменского индустриального университета.

Измерения показателей компонентов осуществлялись на приборах: окислительно-восстановительный потенциал Eh – ОВП-метр ORP-169e (KELILONG, Китай); водородный показатель pH – pH-метр pH-150МИ (ООО «Измерительная техника», г. Москва, Россия); железо, мутность и цветность – спектрофотометр марки ПЭ-5400ВИ (ООО «ЭКРОСХИМ», г. Санкт-Петербург, Россия). Количественное содержание железа определялось согласно ГОСТ 16698.6-93² с сульфосалициловой кислотой.

Исследования проводились в течение года в лаборатории кафедры инженерных систем и сооружений с забором проб воды из р. Туры.

3. Результаты и обсуждение

По сравнительным среднегодовым данным содержания железа в р. Туре в процессе движения от истока до впадения в р. Тобол (рис. 2) от-

¹ Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : СанПиН 1.2.3685-21 : официальное издание : утверждены постановлением Главного государственного санитарно-врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2. – Москва : Минюст России, 2021. – 990 с. – Текст : непосредственный.

² ГОСТ 16698.6-93. Марганец металлический и марганец азотированный. Методы определения железа = Metallic manganese and nitrated manganese. Methods for determination of iron : межгосударственный стандарт : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 17 февраля 1993 г. : дата введения 1995-07-01 / разработан Техническим комитетом ТК 8 «Ферросплавы». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008956?ysclid=lw4k9ncikm880396637> (дата обращения: 10.03.2024).

мечаются незначительные изменения значений: в верховье его количество составило 1.3, в средней части – 0.8, в низовой – 1.09 мг/дм³ (снижение содержания в средней части связано с притоками, которые формируются при отсутствии болот и имеют минимальные количества железа) [9]. В низовье увеличение железа незначительно, но по сравнению со средней частью реки возрастает содержание марганца с 0.12 до 0.2 мг/дм³, что указывает на гидравлическую связь реки с болотами, каковые имеются на этом отрезке в большом количестве.

Анализ систематических измерений количественных показателей речной воды за последние годы дает конкретное представление о связи содержания железа с расходными характери-

стиками реки (даны через посредство уровней) и некоторыми другими основными (мутностью, цветностью, окисляемостью, рН). В связи с тем, что в последние годы расходные характеристики водного баланса р. Туры имеют неустойчивый характер, рассматривается связь содержания различных компонентов с уровнем воды. Зависимость содержания железа и мутности от уровней воды приведена на рис. 3.

По данным за рассматриваемый промежуток максимальные количества железа соответствовали 3.31 мг/дм³, и, судя по совмещенным графикам (рис. 3), максимумы совпадают с паводковыми явлениями (снеговым, дождевым), и железо в этом случае в массовом количестве содержится в илистой форме.



Рис. 2. Схема бассейна р. Туры с расчетными створами [9]
Fig. 2. Scheme of the Tura basin with the control stations [9]

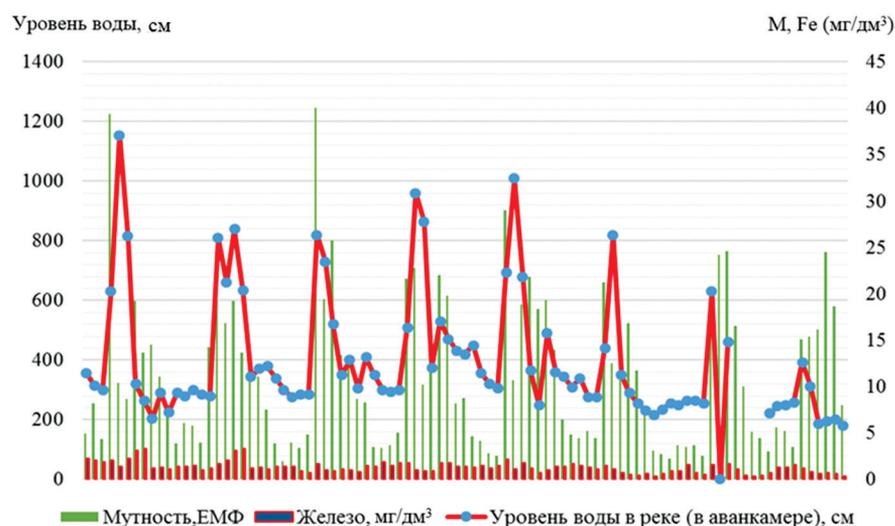


Рис. 3. Зависимость содержания железа и мутности от уровней воды
Fig. 3. Dependence of iron content and turbidity on water levels



Рис. 4. Изменение содержания железа и водородного показателя по сезонам года в течение семилетнего наблюдения
 Fig. 4. Change in iron content and hydrogen index by seasons during a seven-year observation period



Рис. 5. Изменение содержания железа и цветности по сезонам года в течение семилетнего наблюдения
 Fig. 5. Change in iron content and colour by seasons during a seven-year observation period

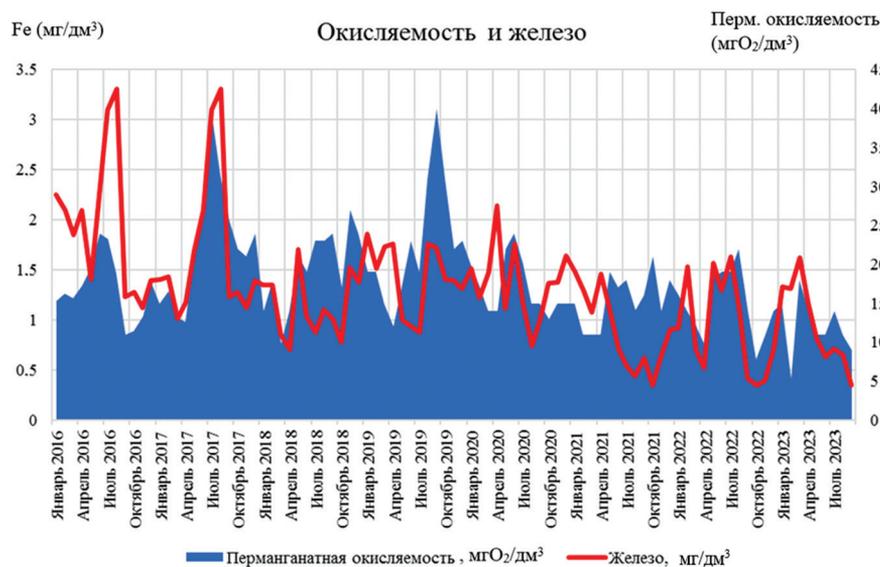


Рис. 6. Изменение содержания железа и перманганатной окисляемости по сезонам года в течение семилетнего наблюдения
 Fig. 6. Changes in iron content and permanganate value by seasons during a seven-year observation period

Зависимость содержания железа от некоторых других качественных показателей (водородного показателя, цветности, перманганатной окисляемости) речной воды за рассматриваемый промежуток времени представлены на рис. 4–6.

Измерение величины Eh и pH природной воды р. Туры выявили, что Eh системы составило +0.193 В, pH – 7.34 и общее содержание железа – 0.67 мг/дм³. Данные значения показателей воды позволили отнести такую к «промежуточной среде» (рис. 7), которая характеризуется наличием гумусовых соединений (болотного происхождения) и неорганических включений.

Расчетные данные по формуле (2) фиксируют наличие железа в речной воде в виде двухвалентного Fe (II) – 82.70 % и трехвалентного комплекса

Fe (III) – 17.30 %, сравнительные экспериментальные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2/Table 2
Экспериментальные данные наличия двухвалентного и трехвалентного железа в речной воде
Experimental data of the iron (II) and iron (III) presence in the river water

Fe (II)	Fe (III)	Fe общее
0.4 мг/дм ³	0.27 мг/дм ³	0.67 мг/дм ³
59.70 %	40.30 %	

В пробе речной воды, взятой в осенний период, измерениями подтверждено преобладание Fe (II) при данном соотношении pH/Eh. После отдувки воды воздухом величины составили pH = 8.01 и Eh = 0.097 В, продувка воды воздухом позволила увеличить pH.

Форма железа при выявленном значении Eh показывает некоторое несовпадение теоретических и экспериментальных данных (из-за многообразия реальных составляющих солевого содержания природной воды). Но следует отметить, что экспериментальные методы более надежны.

Наиболее действенным, распространенным и эффективным способом обработки природной воды является коагулирование [16, 17]. Но в ряде случаев из-за наличия заряженных коллоидных и растворенных примесей, особенно в виде железоорганических комплексов, для их извлечения, кроме адсорбционных процессов, требуется применение окислителей с целью нейтрализации коллоидов и разрушения комплексных соединений.

4. Заключение

Исследование соотношения природных форм железа в р. Туре в разные периоды года позволило прийти к следующим выводам:

1. Качественные показатели речной воды зависят от сезона года и от колебания водного баланса (уровня) в реке, так, согласно многолетним наблюдениям за количественными показателями ряда компонентов, отмечены значительные изменения содержания железа (0.3–3.8 мг/дм³), цветности (50–230 град

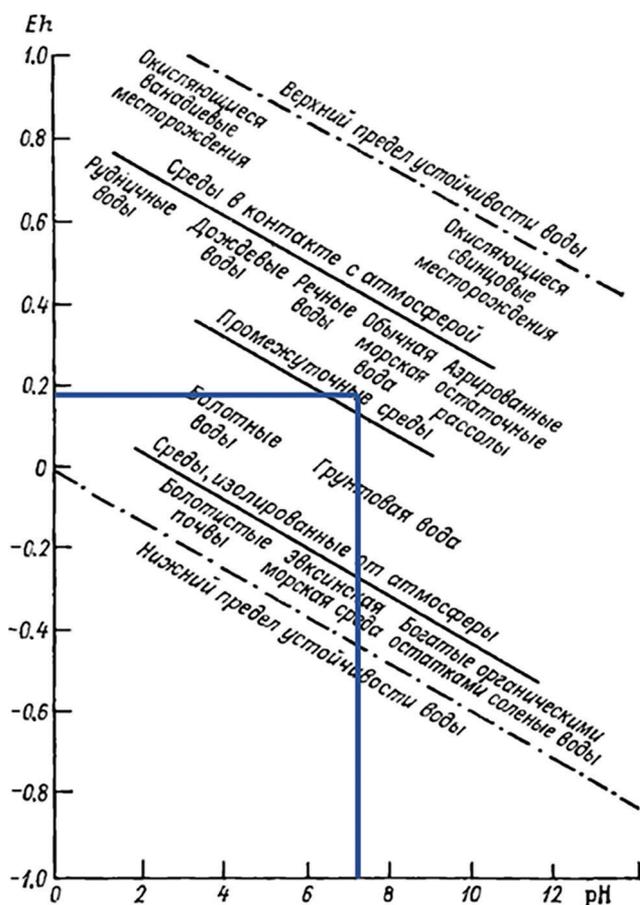


Рис. 7. Зависимость природных сред от Eh и pH по М. Р. Гаррелсу [4]
Fig. 7. Dependence of natural environment on Eh and pH according to M. R. Garrels [4]

- ПКШ), перманганатной окисляемости (7–40 мг·О₂/дм³) и др.
2. Ориентируясь на величину Eh и pH речной воды, можно установить количественные значения форм железа. При величине Eh < –0.45 (процесс окисления железа) железо находится в связанной органической форме, при повышении значения Eh – в окисленной форме в виде взвеси.
 3. Выявление формы состояния железа позволит обоснованно принимать технологию обработки воды при различных состояниях водного объекта, повысить эффективность технологии удаления сложных органоминеральных примесей, для чего требуется применение окислителей (активный хлор, гипохлорит натрия, перманганат калия и др.).

Библиографический список

1. Фрог, Б. Н. Водоподготовка : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. Н. Фрог, А. Г. Первов. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2014. – 506 с. – ISBN 978-5-93093-974-3. – Текст : непосредственный.
2. О показателях качества воды / Л. Г. Дерюшев, Н. Л. Дерюшева, А. А. Ерхов, Б. Н. Фрог. – Текст : непосредственный // Яковлевские чтения : XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева, Москва, 15–16 марта 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Московский государственный строительный университет. – Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2018. – С. 30–34.
3. Перельман, А. И. Геохимические ландшафты России и радиогеоэкология (методология, теория, практика) / А. И. Перельман, Е. Н. Борисенко, А. Е. Воробьев. – Текст : непосредственный // Науки о земле на пороге XXI века: новые идеи, подходы, решения, Москва, 11–14 ноября 1997 года. – Москва : ООО «Научный мир», 1997. – С. 140.
4. Алекин, О. А. Основы гидрохимии : учебное пособие для гидрометеорологических институтов и гос. университетов / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с. – Текст : непосредственный.
5. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / О. А. Давыдова, Е. С. Климов, Е. С. Ваганова, А. С. Ваганов. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2014. – 167 с. – ISBN 978-5-9795-1344-0. – Текст : непосредственный.
6. Алешина, А. Р. Изменение форм металлов и их биодоступности при фотохимическом окислении органоминеральных соединений в природных водах : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Алешина Алиса Романовна ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва, 2023. – 110 с. – Текст : непосредственный.
7. Чайковский, Г. П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод : учебное пособие / Г. П. Чайковский, В. В. Кулаков, Е. В. Сошников. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 1998. – 88 с. – Текст : непосредственный.
8. Линник, П. Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1986. – 268, [2] с. – Текст : непосредственный.
9. Маркин, В. Н. Эколого-водохозяйственная оценка реки Туры / В. Н. Маркин. – Текст : непосредственный // Природообустройство. – 2012. – № 2. – С. 60–65.
10. Янин, Е. П. Осадок железосодержащих подземных питьевых вод (образование, особенности, проблемы утилизации) / Е. П. Янин. – Текст : непосредственный // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2008. – № 4. – С. 26–57.
11. Metal oxidizing microbes and potential application in bioremediation of soil and water / D. Soustav, D. Dey, S. Dey [et al.]. – Текст : электронный // Metals and Metalloids in Soil-Plant-Water Systems / Edited by Tariq Aftab and Khalid Hakeem. – Academic Press, 2022. – P. 309–330. – DOI 10.1016/C2021-0-00911-1. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323916752000159?via%3Dihub> (date of the application: 12.03.2024).
12. Luna, J. M. Biosurfactant from *Candida sphaerica* UCP0995 exhibiting heavy metal remediation properties / J. M. Luna, R. D. Rufino, L. A. Sarubbo. – DOI 10.1016/j.psep.2016.05.010. – Текст : электронный // Process Safety and Environmental Protection. – 2016. – Vol. 102. – P. 558–566. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582016300659?via%3Dihub> (date of the application: 12.03.2024).
13. Мотузова, Г. В. Формы соединений железа в почвенных растворах и дренажных водах на примере Яхромской поймы / Г. В. Мотузова, А. К. Дегтярева. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 110–114.

14. Stumm, W. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters / W. Stumm, J. J. Werner. – New York : Wiley, 1996. – 1022 p. – Текст : непосредственный.
15. Плехович, С. Д. Механизм фотохимического окисления нитросоединениями субстратов различной природы (изучение методами квантовой химии) : специальность 02.00.04 «Физическая химия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Плехович Сергей Дмитриевич. – Нижний Новгород, 2014. – 133 с. – Текст : непосредственный.
16. Жулин, А. Г. Влияние качественных показателей реки Туры на выбор технологической схемы очистки воды / А. Г. Жулин, О. А. Паталай. – Текст : непосредственный // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке : Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции, Тюмень, 23 марта 2018 года. Том 1. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 84–89.
17. Алексеева, Л. П. Оптимизация процесса реагентной обработки цветных вод в характерные периоды года / Л. П. Алексеева, С. Е. Алексеев. – DOI 10.35776/VST.2023.03.01. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 3. – С. 4–14.

References

1. Frog, B. N., & Pervov, A. G. (2014). *Vodopodgotovka*. Moscow, Publishing House ASV Publ., 506 p. (In Russian).
2. Deryushev, L. G., Deryusheva, N. L., Erkhov, A. A., & Frog, B. N. (2018). O pokazatelyakh kachestva vody. *Yakovlevskie chteniya: XIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva*, Moscow, 15–16 March, 2018. Moscow, MISI-MGSU Publ., pp. 30-34. (In Russian).
3. Perel'man, A. I., Borisenko, E. N., & Vorob'ev, A. E. (1997). *Geokhimicheskie landshafty Rossii i radiogeoeкологиya (metodologiya, teoriya, praktika)*. *Nauki o zemle na poroge XXI veka: novye idei, podkhody, resheniya*, Moscow, 11–14 November, 1997. – Moscow, "Nauchnyy mir" Publ., 140 p. (In Russian).
4. Alekin, O. A. (1970). *Osnovy gidrokhimii*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 444 p. (In Russian).
5. Davydova, O. A., Klimov, E. S., Vaganova, E. S., & Vaganov, A. S. (2014). *Vliyanie fiziko-khimicheskikh faktorov na sodержание tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh*. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University Publ., 167 p. (In Russian).
6. Aleshina, A. R. (2023). *Izmenenie form metallov i ikh biodostupnosti pri fotokhimicheskom okislenii organo-mineral'nykh soedineniy v prirodnykh vodakh*. Diss. kand. geologo-mineralogicheskikh nauk. Moscow, 110 p. (In Russian).
7. Chaykovskiy, G. P., Kulakov, V. V., & Soshnikov, E. V. (1998). *Obezzhelozivanie i demanganatsiya podzemnykh vod*. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University Publ., 88 p. (In Russian).
8. Linnik, P. N., & Nabivanets, B. I. (1986). *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 268[2] p. (In Russian).
9. Markin, V. N. (2012). *Ekologo-vodokhozyaystvennaya otsenka reki Tury*. *Environmental Engineering*, (2), pp. 60-65. (In Russian).
10. Yanin, E. P. (2008). *Osadok zhelezosoderzhashchikh podzemnykh pit'evykh vod (obrazovanie, osobennosti, problemy utilizatsii)*. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy*, (4), pp. 26-57. (In Russian).
11. Soustav, D., Dey, D., Dey, S., Mallick, A., & Barman, M. (2022). Metal oxidizing microbes and potential application in bioremediation of soil and water. From: Tariq Aftab and Khalid Hakeem (eds.). *Metals and Metalloids in Soil-Plant-Water Systems*. Publ. Academic Press, pp. 309-330. DOI 10.1016/C2021-0-00911-1. (In English). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323916752000159?via%3Dihub> (accessed 12.04.2024).
12. Luna, J. M., Rufino, R. D., & Sarubbo, L. A. (2016). Biosurfactant from *Candida sphaerica* UCP0995 exhibiting heavy metal remediation properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, pp. 558-566. DOI 10.1016/j.psep.2016.05.010. (In English). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582016300659?via%3Dihub> (accessed 12.03.2024).
13. Motuzova, G. V., & Degtyaryova, A. K. (1993). *Formy soedineniy zheleza v pochvennykh rastvorakh i drenaznykh vodakh na primere Yakhromskoy poymy*. *Pochvovedenie*, (1), pp. 110-114. (In Russian).
14. Stumm, W., & Werner, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. New York, Publ. Wiley, 1022 p. (In English).
15. Plekhovich, S. D. (2014). *Mekhanizm fotokhimicheskogo okisleniya nitrosoedineniyami substratov razlichnoy prirody (izuchenie metodami kvantovoy khimii)*. Diss. kand. khimicheskikh nauk. Nizhny Novgorod, 133 p. (In Russian).

16. Zhulin, A. G., & Patalay, O. A. (2018). Vliyanie kachestvennykh pokazateley reki Tury na vybor tekhnologicheskoy skhemy ochestki vody. Severnyy morskoy put', vodnye i sukhoputnye transportnye koridory kak osnova razvitiya Sibiri i Arktiki v XXI veke : Sbornik dokladov XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen, 23 March, 2018. Vol. 1. Tyumen, Industrial University of Tyumen, pp. 84-89.
17. Alekseeva, L., & Alekseev, S. (2023). Optimization of the process of colored water chemical treatment in characteristic periods of the year. Water Supply and Sanitary Technique, (3), pp. 4-14. (In Russian). DOI 10.35776/VST.2023.03.01.

Сведения об авторах

Жулин Александр Гаврилович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: semen1941@yandex.ru

Белова Лариса Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инженерных систем и сооружений, заведующая кафедрой начертательной геометрии и графики, Тюменский индустриальный университет, e-mail: belovalv@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7279-3618

Семенов Павел Александрович, обучающийся кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, e-mail: semechko2009@gmail.com

Information about the authors

Alexander G. Zhulin, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: semen1941@yandex.ru

Larisa V. Belova, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Systems and Structures, Head at the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Industrial University of Tyumen, e-mail: belovalv@tyuiu.ru. ORCID 0000-0001-7279-3618

Pavel A. Semyonov, Student at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, e-mail: semechko2009@gmail.com