

**ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 66.974.434

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-31-38

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИИ КАТИОНИТА КУ-2-8 В НАТРИЕВОЙ
ФОРМЕ РАЗЛИЧНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ХЛОРИДА НАТРИЯ****Волкова Ольга Игоревна¹, Винидиктова Юлия Александровна²,
Золотухина Наталья Анатольевна², Золотухин Владимир Михайлович²**¹ ТОКЕМ² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: olvolkova94@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

19 февраля 2023 г.

Одобрена после
рецензирования:

20 ноября 2023 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:сильнокислотный катионит,
регенерация, концентрация,
ионит**Аннотация.**

Вода используется в каждом промышленном процессе, качество водоподготовки играет важную роль в производстве, в связи с этим к ней предъявляются высокие требования. Обессоливание воды в промышленности может быть достигнуто разными методами. Наиболее распространенные схемы глубокой очистки включают ионный обмен, осуществляющийся на ионитовых фильтрах. Растворенные в воде кислоты, соли, основания, распределенные в воде в виде отдельных ионов, практически полностью удаляются с помощью ионообменной технологии. Сущность обработки воды методами ионного обмена основана на пропуске предварительно обработанной воды через фильтрующий слой ионообменного материала.

Иониты представляют собой нерастворимые в воде высокомолекулярные вещества, которые благодаря наличию в них специальных функциональных групп способны к реакциям ионного обмена.

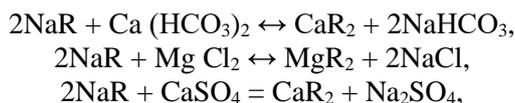
В данной работе исследована регенерация сильнокислотного катионита КУ-2-8 в натриевой форме растворами хлорида натрия. Катионит широко применяется при умягчении промышленной воды на предприятиях. Исследовано влияние концентрации регенерирующего раствора с целью подбора оптимального регенерата, способного удалять из функциональных групп катионита ионы жесткости. Результаты показали, что для полной регенерации КУ-2-8 в натриевой форме необходимо пропустить 8% раствор хлорида натрия.

Для цитирования: Волкова О.И., Винидиктова Ю.А., Золотухина Н.А., Золотухин В.М. Исследование регенерации катионита КУ-2-8 в натриевой форме различными концентрациями хлорида натрия // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 6 (160). С. 31-38. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-31-38, EDN: NBVMUG

Введение. Проблема обеспечения водой не только населения государства, но и различных хозяйствующих субъектов в настоящее время является актуальной. Особую значимость приобретают вопросы очистки и переработки воды. Например, в докладе «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году»

подчеркивалось, что «распределение водных ресурсов по территориям федеральных округов и субъектов Российской Федерации крайне неравномерно. Наибольшее количество ресурсов (более 50%) сосредоточено в восточных регионах страны: в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Наименьшей ресурсной базой питьевых подземных вод обладают южные регионы: Южный и Северо-Кавказский федеральные округа [1, 2]. Более того, существуют риски, связанные с ограниченностью возможностей региональных бюджетов в рамках снижения эффективности исполнения ими собственных полномочий в сфере водопользования, что приводит к росту межрегиональных различий в области обеспеченности населения качественной водой и защиты от негативного воздействия вод [2].

Основная часть. При Na-катионировании происходит обмен катионов, находящихся в исходной воде, на ион натрия [3, 4, 5]:



где R – полимерная матрица с функциональной группой HSO_3^- .

Приведенные реакции показывают, что при Na-катионировании карбонатная жесткость исходной воды переходит в умягченной воде в натриевую щелочность. Остаточная жесткость Na-катионированной воды снижается до 3 мкг-эquiv/л [6].

Для умягчения используется сильноокислотная смола КУ-2-8 в натриевой форме, которая состоит из нерастворимой твердой основы, представляющей собой небольшие гранулы от желтого до темно-коричневого цвета [7, 8].

Физико-химические свойства катионита представлены в Таблице 1 [9].

Катионит разработан для умягчения в водоподготовке. Применяется в тепловой энергетике и в других технологических сферах, где есть необходимость использования технической воды [10], предполагающей ее соответствие экологическим стандартам в рамках снижения рисков для здоровья человека и окружающей среды [11].

Сильноокислотный катионит КУ-2-8 Na^+ с высокой температурной и химической стойкостью и механической прочностью не имеет класса опасности и может перевозиться любым видом транспорта.

Принцип работы ионитов основывается на ионном обмене. На поверхности катионита сосредоточены потенциалообразующие ионы. Они имеют отрицательный заряд. Ионы диффузного слоя присутствуют рядом. Из водного раствора ионит на свою поверхность улавливает ионы солей, отдавая в воду натрий. Каждая гранула ионита накапливает сторонние заряды до определенного предела (проскока). После этого проводится регенерация катионита раствором поваренной соли, который снимает ионы жесткости с

Таблица 1. Физико-химические свойства катионита КУ-2-8 (Na^+)
Table 1. Physical and chemical properties of KU-2-8 (Na+) cationite

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 20298-74
Матрица	Стирол-дивинилбензолная
Структура	Гелевая
Размер зерен, мм	0,315-1,250
Коэффициент однородности, не более	1,7
Объемная доля рабочей фракции, %, не менее	96
Осмотическая стабильность, % не менее	94,5
Эффективный размер зерен, мм, не более	0,40-0,55
Массовая доля влаги, %	48-58
Полная статическая обменная емкость, мг-эquiv/см ³ , не менее	1,8

поверхности смолы, свободное место занимает натрий [4, 12, 13].

На эффективность работы технологии умягчения воды влияют следующие факторы [4, 14]:

- общая минерализация воды;
- водородный показатель воды (pH);
- общие органолептические характеристики воды, такие как цветность и мутность;

— наличие в воде соединений железа и органики.

Влияние температуры исходной воды на протекание ионообменных процессов: повышение температуры исходной воды интенсифицирует диффузию ионов, поэтому там, где требуется высокая степень умягчения воды, следует производить нагревание исходной воды до 35-40°C либо до температуры, которую допускает используемое оборудование (фильтры и ионит) умягчения. Аналогичное условие касается и регенерационного раствора NaCl, процесс ее растворения является эндотермическим (протекает с поглощением тепла) [4, 14].

Влияние водородного показателя (pH) на эффективность протекания ионного обмена в системах умягчения воды [4, 14]:

- значение водородного показателя (pH) исходной воды также влияет на обменную емкость катионита, находящегося в натриевой форме. Ионы водорода, имеющие сродство к катиониту большее, чем ионы натрия, замещают их в матрице катионита;

- в процессе ионного обмена ионы натрия, имеющие большее сродство к катиониту, чем ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , мешают процессу замещения на ионы водорода, то есть сорбируются катионитом первыми. За счет этого обменная емкость катионита по ионам Ca^{2+} и Mg^{2+} снижается, таким образом, чем ниже значение pH (чем больше в исходной воде ионов H^+), тем большее их количество замещает в матрице катионита ионы Na^+ , а реакция замещения имеет следующий вид:



- оптимальное значение водородного показателя pH в процессе Na-катионирования должно быть не менее 6,5 и не более 10,0 (при pH исходной воды более 10 растет риск разрушения катионита).

Влияние органолептических показателей воды (цветность, мутность), органики и соединений железа на процессы ионного обмена и эффективность работы систем умягчения [4, 14].

Цветность и мутность исходной воды может препятствовать эффективному протеканию обменных процессов вследствие загрязнения полимерных гранул катионита и препятствования свободному потоку воды через толщу загрузки ионно-обменной смолы. Железо формирует на зернах катионита устойчивую трудно удаляемую оксидную пленку, которая полностью блокирует обменные процессы [14].

В итоге эффективность работы фильтров – умягчителей практически может быть сведена к нулю, и регенерация катионита результатов по восстановлению обменной емкости не приносит, а сам катионит подлежит полной замене. Для эффективной работы ионообменной смолы необходимо соблюдать следующие требования по качеству исходной воды, проходящей через ионит:

- содержание взвешенных примесей – не более 8 мг/л;
- цветность – не более 30 градусов платино-кобальтовой шкалы;
- содержание железа – не более 0,3 мг/л;
- окисляемость перманганатная – не более 5 мг O_2 /л [15].

После первого фильтроцикла водоподготовки было выяснено, что КУ-2-8 Na^+ в фильтре второй ступени (стадия катионирования) не обеспечивает получение воды требуемого качества – жесткость очищенной воды более 20 мкг-экв/л [4, 13]. Такое значение жесткости воды при выходе из фильтра означает, что смолу необходимо вывести на регенерацию. Катионит перестал улавливать жесткость, причиной этому может быть недостаточная регенерация катионита.

Стадии регенерации сильнокислотного катионита в натриевой форме. Существенным аспектом является определение оптимального количества регенерирующего вещества для проведения полной регенерации.

Процесс регенерации натрий-катионитовых установок включает в себя следующие этапы [4, 14, 16, 17]:

1. Взрыхление – длится примерно 10-30 минут и имеет целью взрыхлить уплотнившиеся слои катионита и удалить принесенные взвешенные вещества;

2. Пропуск регенерационного раствора – процесс восстановления замещенных ионов Na^+ на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Время пропуска регенерационного раствора зависит от рабочей емкости

фильтра, концентрации солевого раствора, требуемой степени умягчения и варьируется от 25 до 40 минут.

Перед регенерацией проводится взрыхление ионита с целью вымывания взвешенных частиц и устранения уплотнения слоя катионита для обеспечения свободного доступа регенерационного раствора к зернам катионита [4, 14].

Взрыхление осуществлялось речной водой снизу вверх со скоростью 7-12 м/ч. Длительность операции взрыхления составляла 20 мин.

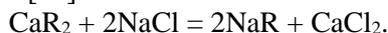
Для выявления наиболее подходящих условий регенерации из верхнего слоя фильтра была отобрана проба. Испытания проводились в лаборатории.

Для более полного прохождения процессов ион-замещения при регенерации и фильтрации использовали метод противоточного катионирования.

Обусловлено это тем, что в процессе регенерации сверху вниз наиболее полное замещение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} на ионы Na^+ происходит в верхних слоях катионитового фильтра, в то время как нижние слои по мере регенерации верхних концентрируют в себе замещенные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Это ухудшает процесс регенерации и приводит к тому, что нижние слои оказываются не полностью регенерированы. Тот же противоионный эффект наблюдается и в процессе работы фильтра, только взамен замещаемых катионов магния и кальция выступают катионы натрия – их повышенная концентрация в нижних слоях катионита затормаживает ионообменный процесс, что приводит к уменьшению полезной обменной емкости катионитового фильтра и, как следствие, влияет на качество воды на выходе установки [4, 14].

Данный эффект, негативно влияющий на работу фильтра, устраняется методом противоточного катионирования – умягчаемая вода и регенерационный раствор подаются в разных направлениях, тем самым обеспечивая условия для наиболее полного умягчения воды в процессе фильтрации.

Для регенерации катионита в натриевой форме применяется 6-8% раствор NaCl . В процессе регенерации катионы натрия будут поглощаться катионитом, а взамен в раствор будут поступать катионы жесткости [15]:



Катионит отрегенирован, когда жесткость на входе и на выходе из фильтра будут равны, то есть равны жесткости регенерационного раствора. Время регенерации обычно составляет 20-30 мин [4, 16].

После регенерации проводится отмывка ионообменной смолы. Отмывка производится с целью удаления из слоя катионита продуктов регенерации и избыточного количества регенерационного раствора. Отмывка катионита осуществляется умягченной водой со скоростью 4-5 м/ч от раствора соли [13, 18].

Методы исследования. Определение жесткости исходной и очищенной воды осуществляли по ГОСТу 31954-2012 [19].

Титриметрический метод анализа является одним из методов количественного анализа. В основе этого метода лежит точное измерение объемов растворов двух веществ, реагирующих между собой. Количественное определение с помощью титриметрического метода анализа выполняется довольно быстро, что позволяет проводить несколько параллельных определений.

В колбу отобрали 100 мл анализируемой пробы, добавили 5 мл аммиачного буферного раствора и индикатор хром темно-синий. Титровали раствором трилона Б (0,1 моль/л) до перехода розовой окраски в синюю.

Расчет производился по формуле:

$$X = V * K * 100 * C_{\text{Т.Б.}}$$

V – объем раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл;

K – коэффициент поправки раствора трилона Б с молярной концентрацией 0,01 моль /л;

$C_{\text{Т.Б.}}$ – молярная концентрация раствора трилона Б.

Экспериментальная часть. Опыт № 1 и 2. В две стеклянные колонки было загружено по 100 мл катионита из фильтра, через них пропускали 6 и 8% раствор хлорида натрия соответственно (линейная скорость около 2 м/ч). После регенерации в 100 мл фильтрата определяли жесткость. Всего пропустили 500 мл (5 объемов раствора соли на объем ионита) 6 и 8% NaCl . Результаты представлены в Таблице 2.

При проведении операции 6 % раствором хлорида натрия катионит не восстановился полностью, поэтому использовать такой раствор нецелесообразно, так как необходимо пропускать больше объема регенерата, что экономически не выгодно. Эксперимент продолжали с 8% раствором NaCl.

Опыт № 3 и 4. В две стеклянные колонки было загружено по 100 мл катионита из фильтра, через них пропускали 8% раствор хлорида натрия (линейная скорость около 2 м/ч). Одну из проб катионита из фильтра регенерировали с остановками на выдержку по 30 мин для более полного использования хлорида натрия, другую – по стандартной технологии без выдержки. Результаты представлены в Таблице 3.

Выводы. Исследовано влияние концентрации регенерирующего раствора, отработана методика регенерации ионита солью (NaCl). В результате выполненных экспериментов выявлено, что для полной регенерации КУ-2-8 в натриевой форме необходимо пропустить 8%

Таблица 2. Результаты анализов на определение жесткости воды

Table 2. Results of tests for determination of stiffness

№ опыта	Концентрация регенерирующего раствора, %	Жесткость до регенерации, мг-экв/л	Жесткость после регенерации, мг-экв/л
1	6	20	7,2
2	8		5

Таблица 3. Результаты анализов на определение жесткости воды

Table 3. Results of tests for determination of stiffness

№ опыта	Концентрация регенерирующего раствора, %	Выдержка, мин	Жесткость до регенерации, мг-экв/л	Жесткость после регенерации, мг-экв/л
3	8	-	20	5
4		30		3

раствор хлорида натрия:

- при регенерации пятью объемами 8% раствора хлорида натрия на объем смолы ионы жесткости воды вымываются из катионита лучше, чем 6% раствором;
- при регенерации катионита необходимо делать выдержку смолы в растворе хлористого натрия для более полного использования регенеранта (NaCl);
- в случае превышения ионов жесткости в очищенной воде дополнительно рекомендуется подать 1-2 объема 8%-NaCl на объем катионита.

Регенерация катионита КУ-2-8 в натриевой форме хлоридом натрия проста в применении, обладает воспроизводимостью и стабильностью, что позволяет применять ее на любых установках для удаления ионов жесткости. В отработанной методике можно многократно использовать регенерированный КУ-2-8 в натриевой форме в процессах умягчения воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году. государственный доклад / гл. ред. Е. И. Петров, Д. Д. Тетенькин ; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) 2021. М. С. 568.
2. Фомина В. Ф. Оценка водопользования регионов России по критериям водообеспеченности, эффективности и устойчивого развития // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2023. Т. 18, № 2. С. 215–240. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2023-2-215-240>
3. Неведров А. В. [и др.] Повышение эффективности и экологической безопасности установок антинакипной водоподготовки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. №1 (89). С. 45–48.
4. Айрапетян Т. С., Чуб И. Н. Водоподготовка на предприятиях теплоэнергетики с использованием Na-катионитовых фильтров : монография. Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2020. 146 с. ISBN 978-966-695-376-9
5. Devaisy S. [et al.] Removal of Organics with Ion-Exchange Resins (IEX) from Reverse Osmosis Concentrate // Membranes. 2023. V. 13, No 2. Pp. 136. <https://doi.org/10.3390/membranes13020136>

6. Горбань Я. Ю. [и др.] Методы удаления из воды солей кальция и магния // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 2 (114). С. 126-135.
7. Rymasheuskaya K. D. The Improvement of Low-Waste Technologies of Working Body of Water Preparation at Thermal and Nuclear Power Plants // Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. 2017. V. 60, No 4. Pp. 367–379. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-4-367-379
8. Gomelya N. [et al.] Research into ion exchange softening of highly mineralized waters // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 4/10 (82). Pp. 4–9. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75338.
9. Ларин Б. М., Ларин А. Б. Химия водного теплоносителя: Учеб. пособие. ФГБЩУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» 2021. 232 с.
10. Власова А. Ю. Ресурсосберегающие технологии утилизации высокоминерализованных кислых отходов с ионитной части комбинированной водоподготовительной установки на Стерлитамакской ТЭЦ // Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 6. С. 25–36.
11. Jabbar-Lopez Z. K. [et al.] The effect of water hardness on atopic eczema, skin barrier function: A systematic review, meta-analysis // Clin Exp Allergy. 2021. 51(3). Pp. 430–451. DOI: 10.1111/cea.13797
12. Тунакова Ю. А. [и др.] Доочистка питьевой воды с использованием искусственных катионитов // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. №12. С. 101–105.
13. Burakov I. A. [et al.] Comparison contemporary methods of regeneration sodium-cationic filters // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891. 2017. DOI : 10.1088/1742-6596/891/1/012266
14. Реут О. П. [и др.] Водоподготовка для предприятий энергетики [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для слушателей курсов повышения квалификации энергетиков. Белорусский национальный технический университет, Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики. Минск : БНТУ, 2015. С. 119. URI <https://rep.bntu.by/handle/data/23925>.
15. Кузнецова И. М. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС : учебник. 2-е изд., перераб. Санкт-Петербург : Лань, 2022. ISBN 978-5-8114-1479-6. Текст : электронный.
16. Бажанов А. Г., Прокопов Н. Г. Импульсная регенерация катионита в натрий-катионовом фильтре // Инженерный вестник Дона. 2021. № 9. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7195>. Текст : электронный.
17. Хусаинов Р. М. [и др.] Сравнительный анализ химической очистки воды в прямоточных и противоточных фильтрах // E-Scio. 2020. № 3. С. 389–395.
18. Кузнецов О. Ю. [и др.] Ресурсосберегающая технология регенерации натрийкатионитовых фильтров // Успехи в химии и химической технологии. 2018. № 12, 208. С. 41–43.
19. ГОСТ 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. М. : Изд-во стандартов, 2018. 16 с.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Волкова Ольга Игоревна, инженер, «ТОКЕМ», (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Карболитовская, 11), e-mail: olvolkova94@mail.ru

Винидиктова Юлия Александровна, к.х.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: vinidiktovaua@kuzstu.ru

Золотухина Наталья Анатольевна, к.х.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: zna.htnv@kuzstu.ru

Золотухин Владимир Михайлович, д.фил.н., профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: zvm64@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Волкова Ольга Игоревна – постановка исследовательской задачи, проведение эксперимента, написание текста, выводы.

Винидиктова Юлия Александровна – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы.

Золотухина Наталья Анатольевна – постановка исследовательской задачи, написание текста, концептуальные исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Золотухин Владимир Михайлович – постановка исследовательской задачи, написание текста, научный менеджмент, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INVESTIGATION OF REGENERATION OF KU-2-8 CATIONITE IN SODIUM FORM BY DIFFERENT CONCENTRATIONS OF SODIUM CHLORIDE

Olga I. Volkova¹, Yulia A. Vinidiktova²,
Natalia A. Zolotukhina², Vladimir M. Zolotukhin²

¹ТОКЕМ LLC,

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: olvolkova94@mail.ru



Article info

Received:

19 February 2023

Accepted for publication:

20 November 2023

Accepted:

22 November 2023

Published:

30 November 2023

Keywords: strong acid cationite, regeneration, concentration, ionite

Abstract.

Water is used in every industrial process, the quality of water treatment plays an important role in production, therefore it meets high requirements. Desalination of water in industry can be achieved by different methods. The most common deep purification schemes include ion exchange carried out on ionite filters. The acids, salts, and bases dissolved in water, distributed in the form of individual ions, are almost completely removed using ion exchange technology. The essence of water treatment by ion exchange methods is based on the passage of pretreated water through the filter layer of the ion exchange material.

Ionites are high-molecular substances insoluble in water, which, due to the presence of special functional groups in them, are capable of ion exchange reactions.

In this paper, the regeneration of KU-2-8 strong acid cationite in sodium form with sodium chloride solutions is studied. Cationite is widely used in the softening of industrial water at enterprises. The influence of the concentration of the regenerating solution was studied in order to select the optimal regenerate capable of removing hardness ions from the functional groups of the cationite. The results showed that for the complete regeneration of KU-2-8 in the sodium form, it is necessary to pass through an 8 % solution of sodium chloride.

For citation: Volkova O.I., Vinidiktova Yu.A., Zolotukhina N.A., Zolotukhin V.M. Investigation of regeneration of KU-2-8 cationite in sodium form by different concentrations of sodium chloride. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 6(160):31-38. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-31-38, EDN: NBBMUG

REFERENCES

1. Petrov E.I., Tetenkin D.D. On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020. State report.; Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Agency for Subsoil Use (Rosnedra)2021. M. S. 568.
2. Fomina V.F. Assessment of water use of Russian regions by criteria of water availability, efficiency and sustainable development. *Bulletin of Perm University. Ser. "Economics"*. 2023; 18(2):215–240. DOI: <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2023-2-215-240>
3. Nevedrov A.V. [et al.] Improving the efficiency and environmental safety of anti-scale water treatment plants. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2012; 1(89):45–48.
4. Hayrapetyan T.S., Chub I.N. Water treatment at thermal power plants with the use of Na-cationite filters : monograph. Harkov. nats. uni-t of the A.N. Beketov Municipal Household. Kharkiv : A.N. Beketov KHNUGH, 2020. 146 p. ISBN 978-966-695-376-9
5. Devaisy S. [et al.] Removal of Organics with Ion-Exchange Resins (IEX) from Reverse Osmosis Concentrate. *Membranes*. 2023; 13(2):136. <https://doi.org/10.3390/membranes13020136>

6. Gorban Ya.Yu. [et al.] Methods of removing calcium and magnesium salts from water. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016; 2(114):126–135.
7. Rymasheuskaya K.D. The Improvement of Low-Waste Technologies of Working Body of Water Preparation at Thermal and Nuclear Power Plants. *Energetika*. Rgos. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. 2017; 60(4):367–379. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-4-367-379
8. Gomelya. N. Research into ion exchange softening of highly mineralized waters / N. Gomelya, V. Trokhymenko, A. Trokhymenko, T. Shabliy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016; 4/10(82):4–9. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75338.
9. Larin B.M., Larin A.B. Chemistry of a water coolant: Textbook. Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin. 2021. 232 p.
10. Vlasova A.Yu. Resource-saving technologies of utilization of highly mineralized acid waste from the ionite part of the combined water treatment plant at Sterlitamekskaya CHP. *Problems of power engineering*. 2022; 24(6):25–36.
11. Jabbar-Lopez Z.K. [et al.] The effect of water hardness on atopic eczema, skin barrier function: A systematic review, meta-analysis. *Clin Exp Allergy*. 2021; 51(3):430–451. DOI: 10.1111/cea.13797
12. Tunakova Yu.A. [et al.] Post-treatment of drinking water using artificial cationites. *Bulletin of the Technological University*. 2022; 25(12):101–105.
13. Burakov I.A. [et al.] Comparison contemporary methods of regeneration sodium-cationic filters. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 891. 2017. DOI : 10.1088/1742-6596/891/1/012266
14. Reut O.P. [et al.] Water treatment for energy enterprises [Electronic resource] : an educational and methodological guide for students of advanced training courses for power engineers. Belarusian National Technical University, Institute of Advanced Training and Retraining of Personnel in new directions development of technology, technology and economy. Minsk: BNTU; 2015. URI <https://rep.bntu.by/handle/data/23925>.
15. Kuznetsova I.M., General chemical technology. Basic concepts of the design of HTS : textbook. Saint Petersburg: Lan; 2022. ISBN 978-5-8114-1479-6. – Text : electronic.
16. Bazhanov A.G., Prokopov N.G. Pulsed regeneration of cationite in a sodium-cation filter. *Engineering Bulletin of the Don*. 2021. No. 9. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n9y2021/7195> . Text : electronic.
17. Khusainov R.M. [et al.] Comparative analysis of chemical water purification in direct and countercurrent filters. *E-Scio*. 2020; 3:389–395.
18. Kuznetsov O.Y. [et al.] Resource-saving technology of regeneration of sodium-onite filters. *Successes in chemistry and chemical technology*. 2018; 12(208):41–43.
19. GOST 31954-2012. Drinking water. Methods for determining stiffness. M.: Publishing House of Standards; 2018.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Olga I. Volkova, engineer, «TOKEM LLC », (650000, Russian Federation, Kemerovo, Karbolitovskaya str., 11), e-mail: olvolkova94@mail.ru
Yulia A. Vinidiktova, C. Sc. in Chemistry, associate professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: vinidiktovaua@kuzstu.ru
Natalia A. Zolotukhina, C. Sc. in Chemistry, associate professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: zna.htnv@kuzstu.ru
Vladimir M. Zolotukhin, Dr. Sc. in Philosophy, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: zvm64@mail.ru



Contribution of the authors:

Olga I. Volkova – setting a research task, conducting an experiment, writing a text, conclusions.

Yulia A. Vinidiktova – statement of the research problem, review of the relevant literature.

Natalia A. Zolotukhina – setting a research task, writing a text, conceptual research, data collection and analysis, conclusions.

Vladimir M. Zolotukhin – setting a research task, writing a text, scientific management, data collection.

All authors have read and approved the final manuscript.